



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

H/Γ
587

**“ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ”**



Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ψωμόπουλος Κων/νος

Σπουδαστής: Γκοτσόπουλος Δημήτριος

ΑΜ: 28013

Αιγάλεω
Ιούνιος - 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μέσα απ'αυτή την εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους όσους με στήριξαν στη διαδρομή αυτή. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου, Ψωμόπουλο Κων/νο, για τη βοήθεια και τη συνεργασία κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	i
Μέσα απ' αυτή την εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους όσους με στήριξαν στη διαδρομή αυτή. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου, Ψωμόπουλο Κων/νο, για τη βοήθεια και τη συνεργασία κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Summary.....	vi
Πρόλογος.....	1
1 ^ο Κεφάλαιο “εισαγωγή”.....	1
1.1 Ενεργειακοί Φορείς – Α.Π.Ε.	3
1.2 Συμβατικά καύσιμα.....	5
2 ^ο Κεφάλαιο “το φαινόμενο και τα αερια του θρμοκηπιου”.....	7
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ “ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”.....	12
3.1. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	12
3.2. Ρύθμιση Συχνότητας ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	13
3.3. Μικρά Υδροηλεκτρικά.....	14
3.3.1. Βασική αρχή.....	14
3.3.2. Σχεδιασμός των μικρών υδροηλεκτρικών.....	16
3.3.3. Ο υδάτινος πόρος και το δυναμικό του.....	17
3.3.3.1. Υδρολογία.....	17
3.3.3.2. Διαστασιολόγηση ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.....	18
3.3.3.3. Ετήσια παραγωγή ενέργειας.....	21
3.3.3.4. Επιλογή θέσης και βασική διαμόρφωση.....	21
3.3.4. Έργα πολιτικού μηχανικού.....	24
3.3.4.1. Φράγματα και υδροφράχτες.....	24
3.3.4.2. Στόμια εισόδου.....	25
3.3.4.3. Κανάλια.....	28
3.3.4.4. Αγωγοί πτώσης.....	29
3.3.4.5. Αυλάκια απαγωγής.....	31
3.3.5. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.....	31
3.3.5.1. Υδροστρόβιλοι.....	31
3.3.5.2. Κιβώτια ταχυτήτων και άλλοι πολλαπλασιαστές της ταχύτητας.....	38
3.3.5.3. Γεννήτριες.....	39
3.3.5.4. Εξοπλισμός ελέγχου.....	40
3.3.5.5. Πίνακας οργάνων του εξοπλισμού διανομής και εξοπλισμός προστασίας.....	40
3.3.5.6. Αυτόματος έλεγχος.....	42
3.3.5.7. Βοηθητικός εξοπλισμός του σταθμού παραγωγής.....	43
3.3.6. Ζητήματα ενδιαφέροντος για τα μικρά υδροηλεκτρικά.....	43
3.3.6.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	43
3.4. Αιολική ενέργεια.....	45
3.4.1. Η ισχύς του ανέμου.....	45
3.4.1.1. Σχηματισμός των ανέμων.....	45
3.4.1.2. Πυκνότητα ισχύος του ανέμου.....	45
3.4.1.3. Μεταβλητότητα των ανέμων.....	48
3.4.1.4. Παγκόσμιο αιολικό δυναμικό.....	52
3.4.1.5. Ιστορική αναδρομή και τρέχουσα ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.....	54
3.4.2. Περιγραφή των ανεμογεννητριών.....	55
3.4.2.1. Υπόβαθρο.....	55
3.4.2.2. Δρομέας.....	57

3.4.2.3.	<i>Άτρακτος</i>	59
3.4.2.4.	<i>Πύργος</i>	61
3.4.2.5.	<i>Έλεγχος της ισχύος</i>	62
3.4.2.6.	<i>Ταχύτητα του δρομέα</i>	64
3.4.3.	Χαρακτηριστικά της αιολικής απόδοσης.....	64
3.4.3.1.	<i>Εύρος εφαρμογών των ανεμογεννητριών</i>	64
3.4.3.2.	<i>Ενεργειακή παραγωγικότητα των αιολικών συστημάτων</i>	68
3.4.3.3.	<i>Αξιοπιστία των αιολικών συστημάτων</i>	72
3.5.	Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	76
3.5.1.	Εισαγωγή.....	76
3.5.1.1.	<i>Ηλιακή ενέργεια</i>	76
3.5.2.	Ηλιακές κυψέλες.....	78
3.5.2.1.	<i>Μέθοδος παραγωγής ηλιακών κυψελών</i>	78
3.5.2.2.	<i>Λειτουργία των ηλιακών κυψελών</i>	81
3.5.3.	Φ/Β πλαίσια (Συστοιχία).....	85
3.5.3.1.	<i>Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας</i>	85
3.5.3.2.	<i>Λειτουργία των Φ/Β συστοιχιών</i>	90
3.5.4.	Φ/Β συστήματα και εφαρμογές τους.....	96
3.5.4.1.	<i>Αυτόνομα συστήματα</i>	96
3.5.4.2.	<i>Διασυνδεδεμένα συστήματα</i>	101
3.6.	Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα.....	102
3.6.1.	Εισαγωγή.....	102
3.6.2.	Γενική επισκόπηση των τεχνολογιών των συστημάτων ισχύος.....	104
3.6.2.1.	<i>Συστήματα παραβολικών κοίλων</i>	104
3.6.2.2.	<i>Συστήματα πύργου ισχύος (ή ηλιακού πύργου)</i>	110
3.6.2.3.	<i>Εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής δίσκου/μηχανής</i>	117
3.6.3.	Περίπτωση εφαρμογής.....	122
3.7.	Γεωθερμική ενέργεια.....	125
3.7.1.	Χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας.....	125
3.7.1.1.	<i>Βασικές αρχές της γεωθερμίας</i>	125
3.7.1.2.	<i>Γεωθερμικές πηγές</i>	127
3.7.1.3.	<i>Γεωθερμικό δυναμικό</i>	130
3.7.1.4.	<i>Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας</i>	130
3.7.2.	Μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής.....	134
3.7.2.1.	<i>Βασικές αρχές</i>	134
3.7.2.2.	<i>Διαδικασία ξηρού (ή άμεσου) ατμού</i>	135
3.7.2.3.	<i>Διαδικασία ατμού αστραπιαίας ατμοποίησης</i>	135
3.7.2.4.	<i>Διαδικασία κύκλος</i>	137
3.7.2.5.	<i>Συνδυασμένες ή υβριδικές εγκαταστάσεις</i>	139
3.7.2.6.	<i>Απόδοση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής</i>	139
3.7.2.7.	<i>Γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής για μικρά και μίνι δίκτυα</i>	141
3.7.2.8.	<i>Διασυνδεδεμένοι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής</i>	143
3.7.3.	Διαδικασία ανάπτυξης των έργων γεωθερμικής ισχύος.....	145
3.7.3.1.	<i>Αναγνώριση και διερεύνηση</i>	146
3.7.3.2.	<i>Διερευνητική γεώτρηση</i>	147
3.7.3.3.	<i>Μελέτη σκοπιμότητας</i>	148
3.7.3.4.	<i>Ανάπτυξη</i>	151
3.7.4.	Πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας.....	153
3.7.4.1.	<i>Παγκόσμια κατανομή της γεωθερμικής χρήσης</i>	153
3.7.4.2.	<i>Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας</i>	155
3.7.4.3.	<i>Το μέλλον της γεωθερμικής ενέργειας</i>	158
3.8.	Ηλεκτροπαραγωγή από τη βιομάζα.....	159
3.8.1.	Η βιομάζα ως ενεργειακός πόρος.....	159
3.8.1.1.	<i>Ορολογία</i>	159

3.8.1.2.	Ενεργειακός κύκλος της βιομάζας.....	161
3.8.1.3.	Βιο-ισχύς.....	161
3.8.2.	Πρώτες ύλες βιομάζας.....	162
3.8.2.1.	Υπολείμματα ξύλου.....	164
3.8.2.2.	Γεωργικά υπολείμματα.....	166
3.8.2.3.	Ενεργειακές καλλιέργειες.....	167
3.8.2.4.	Απόβλητα.....	168
3.8.3.	Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής.....	171
3.8.3.1.	Τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας.....	171
3.8.3.2.	Απευθείας καύση.....	173
3.8.3.3.	Σύγκανση με άνθρακα.....	177
3.8.3.4.	Ηλεκτροπαραγωγή με αεριοποίηση της βιομάζας.....	181
3.8.4.	Δυναμικό και επιπτώσεις της αγοράς βιο-ισχύος.....	187
3.8.4.1.	Κατάσταση της αγοράς και το δυναμικό αυτής.....	187
3.8.4.2.	Οικονομικές επιπτώσεις.....	190
3.8.4.3.	Εμπόδια για την περαιτέρω διεξόδου.....	190
3.9.	Συμπαραγωγή.....	192
3.9.1.	Η έννοια της συμπαραγωγής.....	192
3.9.2.	Βασικές αρχές της συμπαραγωγής.....	196
3.9.2.1.	Θερμικές μηχανές.....	196
3.9.2.2.	Μηχανές εσωτερικής καύσης.....	197
3.9.2.3.	Αεριοστρόβιλοι.....	199
3.9.2.4.	Ατμοστρόβιλοι.....	202
3.9.2.5.	Αρχές της καύσης.....	204
3.9.2.6.	Δείκτες αποδοτικότητας των συστημάτων συμπαραγωγής.....	208
3.9.3.	Ταξινόμηση των συστημάτων συμπαραγωγής.....	212
3.9.3.1.	Τύποι σχημάτων συμπαραγωγής.....	212
3.9.3.2.	Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής.....	213
3.10.	Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής.....	216
3.10.1.	Συγκρότηση σταθμού και διατάξεις κυκλωμάτων.....	216
3.10.2.	Θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας.....	218
3.10.3.	Βαθμός απόδοσης θερμοδυναμικού κύκλου.....	220
3.10.4.	Βελτίωση αποδόσεως θερμοδυναμικού κύκλου.....	221
3.10.5.	Επίδραση απομαστεύσεων ατμού στο βαθμό του θερμοδυναμικού κύκλου.....	223
3.10.6.	Απώλειες καπνοδόχου.....	224
3.10.7.	Ολικός βαθμός αποδόσεως ατμοηλεκτρικής εγκαταστάσεως και κατανάλωση καυσίμου.....	224
3.10.8.	Η θερμοδυναμική του ατμοστρόβιλου.....	226
3.10.9.	Αξιοπιστία λειτουργίας.....	227
3.10.10.	Θέση σταθμού παραγωγής.....	228
3.11.	Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς ανιδραστήρες.....	232
3.11.1.	Γενικά.....	232
3.11.2.	Επιπτώσεις εισαγωγής πυρηνικών σταθμών στο σύστημα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	232
3.11.3.	Τύποι αντιδραστήρων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	233
4^ο Κεφάλαιο	“ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΥΠΩΝ”	241
4.1.	Εισαγωγή.....	241
4.2.	Ρύποι Θερμοηλεκτρικών Σταθμών.....	241
4.2.1.	Κύριοι ρύποι περιγραφή και επιδράσεις.....	242
4.2.2.	Τρόποι μείωσης εκπομπών ρύπων.....	244
4.2.2.1	Το πρωτόκολλο του Κιότο.....	245
4.2.2.2.	Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	247
4.2.2.3	Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	250
4.3.	Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή.....	251
4.4.	Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα.....	253

4.4.1. Ποιότητα του αέρα	253
4.4.2 Ποιότητα των υδάτων	254
4.4.3. Χρήσεις των γαιών	254
4.5. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία.....	255
4.5.1. Αποθέσεις μετάλλων	255
4.5.2. Υδρολογικές αλλαγές.....	256
4.5.3. Διάβρωση	256
4.5.4. Ρύπανση	256
4.5.5. Επανεύχυση	258
4.6. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά	259
4.7. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συγκεντρωτικά συστήματα	259
5^ο Κεφάλαιο “στοιχεία εκπομπών ρυπων ανα τυπο εργοστασίου”	261
5.1. Στοιχεία εκπομπών με χρήση της βάσης δεδομένων GEMIS	261
5.2. Στοιχεία εκπομπών ρυπων θερμοηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα	265
Βιβλιογραφία	283
Παράρτημα 1	284
Παράρτημα 2	285

SUMMARY

This work deals with all forms of electricity and thermal energy, and the pollutants in gasemissions during production. More detailed work is the production of fired power, nuclear and hydroelectric stations, from pooled and photovoltaic, biomass, geothermal, cogeneration and wind turbines. Even including emissions levels of emissions for different modes and production quantities, particular emphasis is given to the pollutants of thermal power plants in CO₂, in Greece. Also in the first chapters refer to fuels and global warming. Finally out solutions to reduce greenhouse emissions, the Protocol of Kioto.

Keywords: electricity generation, wind farms, nuclear plants, hydroelectric plants, biomass, pollution, pollutants, geothermal energy, solar energy, greenhouse gases.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μετά από πρόταση που μου έγινε από τον καθηγητή μου Δρ. Ψωμόπουλο Κων/νο, δέχτηκα να αναλάβω την πτυχιακή εργασία με θέμα: «Παραγωγή Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας και οι Ρύποι τους σε Αέρια του Θερμοκηπίου». Βρήκα ενδιαφέρον αυτό το θέμα μετά την παρακολούθηση του μαθήματος Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Ι που διδάσκεται από τον ίδιο καθηγητή.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε με όλους τους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, αλλά και με τους ρύπους σε αέρια του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή τους. Πιο αναλυτικά στην εργασία υπάρχει η παραγωγή από ατμοηλεκτρικούς, πυρηνικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς, από συγκεντρωτικά και φωτοβολταικά πάρκα, βιομάζα, γεωθερμία, συμπαραγωγή και ανεμογεννήτριες. Ακόμα συμπεριλαμβάνονται τιμές ρύπων του θερμοκηπίου για διάφορους τρόπους και ποσότητες παραγωγής, ιδιαίτερη όμως έμφαση δίνεται στους ρύπους των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων, σε CO₂, στον Ελλαδικό χώρο. Επίσης στα πρώτα κεφάλαια γίνεται αναφορά σε καύσιμα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τέλος αναφέρονται λύσεις στον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπως το πρωτόκολλο του Κιото. Τέλος θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και θα προβούμε σε συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά: παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αιολικά πάρκα, πυρηνικά εργοστάσια, υδροηλεκτρικοί σταθμούς, βιομάζα, ρύπανση, ρύποι, γεωθερμική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, αέρια του θερμοκηπίου.

1^Ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΕΙΣΑΓΩΓΗ”

Το ενεργειακό πρόβλημα μαζί με το πρόβλημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία και η επίλυση τους έχει γίνει επιτακτική σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ενδιαφέρον που έχει δημιουργηθεί για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, ενισχύεται από την παράλληλη προσπάθεια περιορισμού των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα.

Η εξοικονόμηση ενέργειας ή ορθολογική χρήση ενέργειας, μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να μειώσουμε τα επίπεδα διαβίωσης μας. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι σημαντικές σε όλους τους τομείς, όπως τις μεταφορές, γεωργία, βιομηχανία, κτίρια του οικιακού ή τριτογενή τομέα, τον ενεργειακό τομέα κλπ. Εκμεταλλευόμενοι νέα συστήματα υψηλής τεχνολογίας με βελτιωμένες αποδόσεις, τις ΑΠΕ, τον καλύτερο σχεδιασμό συστημάτων και τους αυτοματισμούς μπορούμε να πετύχουμε και τους δύο στόχους, δηλαδή μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και προστασία του περιβάλλοντος.

Η μόλυνση του περιβάλλοντος από την καύση των ορυκτών καυσίμων στην βιομηχανία, στα αυτοκίνητα, στα κτίρια κλπ έχει φτάσει σε επικίνδυνα όρια. Η συνεχιζόμενη κατανάλωση ή μεγάλη σπατάλη των περιορισμένων αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, τα οποία απαιτούν εκατομμύρια χρόνια για να ανανεωθούν, αποτελεί ανευθυνότητα προς τις επόμενες γενεές που αναγκαστικά θα στερηθούν αυτά τα υλικά για τη διαβίωση τους.

Οι προβλέψεις για την διαθεσιμότητα και την διάρκεια εκμετάλλευσης των γνωστών αποθεμάτων ή ακόμη και με τον συνυπολογισμό της δυνατότητας ανεύρεσης νέων κοιτασμάτων, διαφέρουν όσο αφορά τον προσδιορισμό συγκεκριμένων καταλυτικών ημερομηνιών. Είναι πάντως κατανοητό ότι η συνεχής εκμετάλλευση χωρίς την παράλληλη ανανέωση των κοιτασμάτων δεν μπορεί παρά να οδηγήσει στην σταδιακή εξάντληση τους.

Συγχρόνως όμως με τον περιορισμό των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων και των πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας, παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας σε χώρες του Τρίτου Κόσμου, εξαιτίας της έντονης προσπάθειας σε αυτές τις χώρες να αυξηθεί το βιοτικό τους επίπεδο που βρίσκεται στα κατώτερα δυνατά επίπεδα, εδώ και δεκαετίες. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την ακόμη μεγαλύτερη αύξηση

της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων λόγω της χρήσης συμβατικών μεθόδων και συστημάτων παραγωγής ενέργειας, αφού οι χώρες αυτές δεν μπορούν να αντέξουν το κόστος της έρευνας για την ανάπτυξη νέων συστημάτων παραγωγής ενέργειας, ούτε διαθέτουν την απαιτούμενη υλικοτεχνική και ανθρώπινη υποδομή. Παράλληλα δημιουργούνται και έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα από την καύση των συμβατικών καυσίμων, ιδιαίτερα για τις αναπτυσσόμενες χώρες οι οποίες δεν είναι σε θέση να αντέξουν το κόστος της προστασίας του περιβάλλοντος. Συνεπώς θα αυξήσουν τους ρυθμούς καύσης πετρελαίου και άνθρακα, θα επιταχύνουν την αποψίλωση δασών ή θα στραφούν στην πυρηνική ενέργεια. Είναι λοιπόν αναγκαίο να βρεθούν εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής ενέργειας που θα είναι ανεξάντλητες, περιβαλλοντικά ασφαλείς και διαθέσιμες παντού.

Τα τελευταία χρόνια τα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή κ.α. γίνονται όλο και πιο έντονα και πλέον γίνεται αναγκαία η υιοθέτηση ήπιων μορφών ενέργειας και η εξοικονόμηση της.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας είναι οι εξής:

- Η Ηλιακή ενέργεια δηλαδή η εκμετάλλευση του ηλίου
- Η Αιολική ενέργεια που είναι η εκμετάλλευση του ανέμου
- Η Γεωθερμική ενέργεια δηλαδή η εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου
- Η Βιομάζα που είναι η εκμετάλλευση των γεωργικών, των ζωικών, των δασικών υπολειμμάτων
- Μικρά υδροηλεκτρικά δηλαδή η εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων

Οι ήπιες αυτές μορφές ενέργειας έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα για το περιβάλλον. Ειδικότερα η χρήση αυτών των πηγών μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ενέργειας και να βελτιώσει την κατάσταση του περιβάλλοντος. Επίσης συμβάλλει στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος για την εισαγωγή πετρελαίου και την ανεξαρτητοποίηση από τις χώρες παραγωγής του. Άλλο σημαντικό στοιχείο είναι ότι προσφέρει ανεξαρτησία από τις χώρες παραγωγής και επίσης η εφαρμογή τους είναι εύκολη σε απομακρυσμένες περιοχές.

Βέβαια εκτός αυτών υπάρχουν και σημαντικά μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα ότι με τις ήπιες μορφές ενέργειας υπάρχει υψηλό κόστος αφού η αρχική επένδυση είναι υψηλή και απαιτείται συνεχής τροποποίηση των μηχανημάτων. Άλλο μειονέκτημα είναι ότι οι μορφές αυτές ενέργειας εξαρτώνται από φυσικά φαινόμενα τα οποία δημιουργούν εμπόδια καθότι η περιοδικότητα των φαινομένων αυτών δεν είναι σταθερή. Τέλος σημαντικό πρόβλημα

δημιουργεί και η μικρή απόδοση που έχουν αυτές οι μορφές ενέργειας αφού τα συστήματα που χρησιμοποιούν είναι νέας τεχνολογίας και άρα χαμηλών αποδόσεων.

1.1 Ενεργειακοί Φορείς – Α.Π.Ε.

Ηλιακή Ενέργεια

Ο τομέας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας έχει προοδεύσει πολύ τα τελευταία χρόνια και την σημερινή εποχή αποτελεί την πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία όσον αφορά τις ήπιες μορφές ενέργειας. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους δηλαδή είτε με άμεσο τρόπο είτε με έμμεσο. Με τον άμεσο τρόπο χρησιμοποιούνται ενεργητικά συστήματα ενώ με τον έμμεσο τρόπο χρησιμοποιούνται παθητικά συστήματα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν διάφορους τύπους ηλιακών συλλεκτών όπως για παράδειγμα τους απλούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση του νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες). Την σημερινή εποχή υπολογίζεται ότι η συνολική επιφάνεια που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του νερού είναι περίπου $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ το οποίο ισοδυναμεί με $0.12 \cdot 10^6$ Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου.

Ο κατάλληλος συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να καλύψει το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου. Η ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα αξιοποιείται κυρίως από ανάγκες ζεστού νερού όπως θερμικά συστήματα. Η επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών για ζεστό νερό οικιακής χρήσης ήταν το έτος 2000 γύρω στα 2,25 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις το δυναμικό της αγοράς για ηλιακά θερμικά συστήματα είναι περίπου δέκα φορές πολλαπλάσιο σήμερα από ότι ήταν. Στον οικιακό τομέα σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία υπάρχουν περισσότερα από 4.000.000 νοικοκυριά στην χώρα, από τα οποία μόνο το 20% χρησιμοποιούν ηλιακό σύστημα για παραγωγή ζεστού νερού. Συγκεκριμένα εκτιμάται ότι με την κατάλληλη προώθηση των ηλιακών θερμικών συστημάτων θα μπορούσαν μέχρι το 2010 να έχουν εγκατασταθεί 5.000.000 τετραγωνικά μέτρα ηλιακών συλλεκτών στον οικιακό τομέα.

Αιολική Ενέργεια

Στην Ελλάδα υπάρχουν διάφορες περιοχές κυρίως στα νησιά του Αιγαίου αλλά και στην Ηπειρωτική χώρα που χαρακτηρίζονται από σταθερούς και δυνατούς άνεμους σε συνεχή βάση, και έτσι θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σ' αυτές τις περιοχές ανεμογεννήτριες. Το ποσοστό παραγωγής Η/Ε από αιολικά πάρκα για το 1998 ήταν μόλις 0,1%. Σύμφωνα με εκτιμήσεις το 15% των ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών της χώρας μπορούν να καλυφθούν από αιολική ενέργεια. Το 1999 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς μόλις που ξεπέρασε τα 100MW. Παρά το μεγάλο αιολικό δυναμικό της χώρας η αιολική ενέργεια μένει κατά μεγάλο μέρος ανεκμετάλλευτη κυρίως λόγω αποθαρρυντικών νομοθετικών ρυθμίσεων, διοικητικών δυσχερειών και γραφειοκρατικών διαδικασιών και σε μερικές περιπτώσεις, λόγω απουσίας κατάλληλων υποδομών για μεταφορά και διασύνδεση με το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας.

Βιομάζα

Η εκμετάλλευση της βιομάζας γίνεται με την καύση του ξύλου, κάρβουνου, γεωργικών ή ζωικών υπολειμμάτων. Οι παλαιές τεχνολογίες είναι πλέον ξεπερασμένες και με σημαντικό κόστος για το περιβάλλον. Με τις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί γίνεται πλέον πιο αποδοτική η εκμετάλλευση της βιομάζας π.χ. για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην χώρα μας τα διαθέσιμα γεωργικά υπολείμματα για παραγωγή ενέργειας από σιτηρά, αραβόσιτο, βάμβακα, καπνό, ηλίανθο κλπ. ανέρχονται ετησίως σε 7.500.000 τόνους.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Αυτή η μορφή ενέργειας καλύπτει περίπου την σημερινή εποχή το 1/5 της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στις αναπτυσσόμενες χώρες υπάρχει δυνατότητα για ακόμη μεγαλύτερη εκμετάλλευση. Προκειμένου να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται το χτίσιμο φραγμάτων.

Συνήθως τα μικρότερα φράγματα προτιμώνται από αυτά των μεγάλων φραγμάτων επειδή ακριβώς τα μικρότερα έχουν και χαμηλότερο κόστος.

Γεωθερμία

Η γεωθερμία εκμεταλλεύεται την θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται από το εσωτερικό της γης μέσω φυσικών ατμών, θερμών νερών και ξηρών πετρωμάτων. Στην

πραγματικότητα αυτή η μορφή ενέργειας δεν είναι πλήρως ανανεώσιμη και η εκμετάλλευση της πρέπει να γίνεται με προσοχή ώστε να μην εξαντληθεί η τοπική θερμική πηγή.

Μια εγκατάσταση για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας μπορεί να παράγει ισχύ για περισσότερο από 90% του χρόνου λειτουργίας της και μπορεί να αναπληρώνει τις ανάγκες για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος όταν δεν υπάρχει ηλιακή ή αιολική ενέργεια.

Η Μήλος και η Νίσυρος αποτελούν δύο σπουδαία πεδία υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες 325 και 350⁰C σε βάθος 1.000-1500 μέτρα. Ρευστά μέσης ενθαλπίας εκτιμάται ότι υπάρχουν στην Σαντορίνη, Σαμοθράκη, Λέσβο, Χίο, Κω, Αλεξανδρούπολη και Καβάλα.

1.2 Συμβατικά καύσιμα

Τα συμβατικά καύσιμα, ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιούνται απ'τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και χωρίζονται σε στερεά, υγρά και αέρια. Τα καύσιμα αυτά περιέχουν χημική ενέργεια την οποία μπορούμε να την μετασχηματίσουμε σε θερμική ενέργεια την οποία στη συνέχεια την υποβάλουμε ευχερέστερα σε διάφορους ενεργειακούς μετασχηματισμούς μέχρι την τελική ηλεκτρική μορφή.

Τα στερεά καύσιμα είναι γνωστά ως γαιάνθρακες και είναι υλικό που εξορύσσεται απ' το έδαφος. Οι γαιάνθρακες ανάλογα με τη γαιολογική ηλικία τους διακρίνονται, αρχίζοντας από τους νεότερης ηλικίας σε:

- Τύρφη
- Λιγνίτη
- Υποπισσούχο άνθρακα
- Πισσούχο γαιάνθρακα – ημιπισσούχο γαιάνθρακα
- Ημιανθρακίτη
- ανθρακίτη

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη, η οποία ενδιαφέρει την ηλεκτρική οικονομία, κυμαίνεται από 1000 – 3000Kcal/Kg για τους Ελληνικούς λιγνίτες, μέχρι 6500 – 7000 Kcal/Kg για τους πισσούχους γαιάνθρακες.

Τα υγρά καύσιμα, τα οποία αξιοποιούνται στην ηλεκτρική οικονομία, προέρχονται κατά κανόνα από την διύλιση του αργού πετρελαίου. Τα χρησιμοποιούμενα προϊόντα της

δύλισης αυτής είναι, είτε το σχετικά ελαφρύτερο ντιζελόιλ, είτε το βαρύτερο μαζούτ, είτε σε ειδικές περιπτώσεις τα πολύ μικρής εμπορικής αξίας κατάλοιπα των διυλιστηρίων.

Η θερμογόνος δύναμη των προηγούμενων καυσίμων είναι μεταξύ 9500 Kcal/Kg για το μαζούτ και 10500 Kcal/Kg για το ντιζελόιλ.

Τέλος τα αέρια καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι κατά κανόνα μόνο τα φυσικά αέρια καύσιμα, δηλαδή εκείνα που εκλύονται από υπόγεια στρώματα και τα οποία τα συναντάμε είτε μόνα είτε σε θύλακες αργού πετρελαίου.

Τα χρησιμοποιούμενα αέρια καύσιμα εμφανίζουν συνήθως θερμογόνο δύναμη από 5600 Kcal/m³ μέχρι 8000 Kcal/m³.

2^ο ΚΕΦΆΛΑΙΟ

“ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ”

Η πλειοψηφία των κλιματικών αλλαγών που συμβαίνουν στον πλανήτη μας οφείλονται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια να εξηγηθεί αυτό το πολύπλοκο φαινόμενο με απλοϊκούς και κατανοητούς όρους.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ουσιαστικά μια μορφή ενέργειας που αποτελείται από διαφορετικά μήκη κύματος. Η ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο και πέφτει στην επιφάνεια της Γης, απορροφάται κατά ένα μέρος από αυτήν ενώ η υπόλοιπη εκπέμπεται πίσω στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Σε φυσιολογικές συνθήκες, από το σύνολο της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας ένα μέρος της δεσμεύεται από το διοξείδιο του άνθρακα και της ατμόσφαιρας, γεγονός που οδηγεί στην ήπια αύξηση της θερμοκρασίας της. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας προέρχεται από φυσιολογικές διαδικασίες όπως είναι η κυτταρική αναπνοή όλων των ζωντανών οργανισμών. Μάλιστα είναι απαραίτητο στοιχείο της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα και είναι καθοριστικής σημασίας για τη ζωή στον πλανήτη. Το ελεύθερο στην ατμόσφαιρα CO₂ χρησιμοποιείται στη συνέχεια από τους φυτικούς οργανισμούς για την παραγωγή οργανικής ύλης. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται φωτοσύνθεση και χαρακτηρίζει όλους τους αυτότροφους οργανισμούς.

Αν δεν δεσμευόταν η υπέρυθρη ακτινοβολία από το CO₂ και τους υδρατμούς, η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν -20° C, αντί για τη μέση θερμοκρασία των 15° C που είναι ευνοϊκή για τη ζωή. Το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας που δεν δεσμεύεται διαπερνά την ατμόσφαιρα και διαφεύγει στο διάστημα, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η υπερθέρμανση του πλανήτη μας.

Ωστόσο εξαιτίας της υπέρμετρης καύσης ορυκτών καυσίμων, όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο, από τον άνθρωπο από τη Βιομηχανική Επανάσταση και ύστερα, η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί. Έτσι όμως αυξάνεται και το ποσοστό της υπέρυθρης

ακτινοβολίας που δεσμεύεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και την πρόκληση μεταβολών στο κλίμα.

Μάλιστα, έχει πλέον αποδειχτεί ότι και άλλα παραγόμενα αέρια προϊόντα, όπως το μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου, συντελούν στην περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας της Γης καθώς λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με το CO_2 . Όλα αυτά τα αέρια αποκαλούνται διεθνώς **αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions, GHGs)**. Σε αυτά ανήκουν το CO_2 , το μεθάνιο, οι χλωροφθοράνθρακες, τα οξείδια του αζώτου και το όζον. Μελέτες στο φαινόμενο των κλιματικών αλλαγών έχουν καταλήξει στο εξής συμπέρασμα: οι υδρατμοί, το CO_2 , το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες ουσιαστικά σχηματίζουν ένα προστατευτικό κάλυμμα στα ανώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας ώστε να απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας και να την επιστρέφουν, θεραμαίνοντας έτσι το σύστημα Γη-κατώτερη στρατόσφαιρα. Η αύξηση λοιπόν αυτών των αερίων οδήγησε στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Θεωρείται υπεύθυνο για το 50% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας. Σε λιγότερο από 2 αιώνες οι άνθρωποι αύξησαν κατά 25% της συνολική ποσότητα CO_2 της ατμόσφαιρας με τη χρήση των φυσικών καυσίμων (γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και με την καταστροφή των δασών. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο οι άνθρωποι επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με 6 δισεκατομμύρια τόνους CO_2 . Επειδή η ποσότητα CO_2 που προστίθεται στην ατμόσφαιρα αυξάνεται με ρυθμό 0.3% το χρόνο, πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι μέχρι το 2040 η μέση θερμοκρασία του πλανήτη μας θα έχει αυξηθεί κατά 5°C . Αν η πρόβλεψη αυτή επιβεβαιωθεί, τότε οι κλιματικές αλλαγές θα γίνουν ακόμη πιο έντονες και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα είναι δραματικές.

Το μεθάνιο (CH_4). Ευθύνεται για το 18% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας. Έχει βρεθεί ότι 1Kg CH_4 απορροφά 70 φορές περισσότερη ενέργεια από 1Kg CO_2 .

Οι χλωροφθοράνθρακες συμβάλλουν κατά 14-16%, **τα οξείδια του αζώτου (NO_x)** κατά 8% και **το όζον (O_3)** κατά 12%.

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης της Γης δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη. Πρόσφατες έρευνες σε Αμερική και Ευρώπη δείχνουν ότι κάτω από τις συνθήκες αυτές προβληματικά κλιματολογικά φαινόμενα, όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες, το El Nino και άλλα, αναμένεται να εμφανίζονται πιο συχνά.

Πάντως, αν και είναι απαραίτητο να μειωθούν, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καμία πρόβλεψη προς το παρόν δεν είναι απόλυτα ακριβής. Κι αυτό γιατί δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή η πολυπλοκότητα των ατμοσφαιρικών φαινομένων και ιδιαίτερα ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρούν οι παράγοντες που ευθύνονται για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με τους μηχανισμούς που την εξισορροπούν.

Την ονομασία «φαινόμενο του θερμοκηπίου» την καθιέρωσε το 1822 ο Γάλλος μαθηματικός Φουριέ, θεωρώντας πως ο μηχανισμός με τον οποίο αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι παρόμοιος με αυτόν που αυξάνει τη θερμοκρασία σε ένα θερμοκήπιο. Και στις δυο περιπτώσεις ο αέρας που θερμαίνεται από τις ηλιακές ακτίνες παγιδεύεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τα παραπάνω αέρια, αλλά και από δευτερογενή παράγωγα καύσης των ορυκτών καυσίμων, ευθύνεται και για άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την ατμόσφαιρα, τα οποία επηρεάζουν το σύνολο των ζωντανών οργανισμών του πλανήτη.

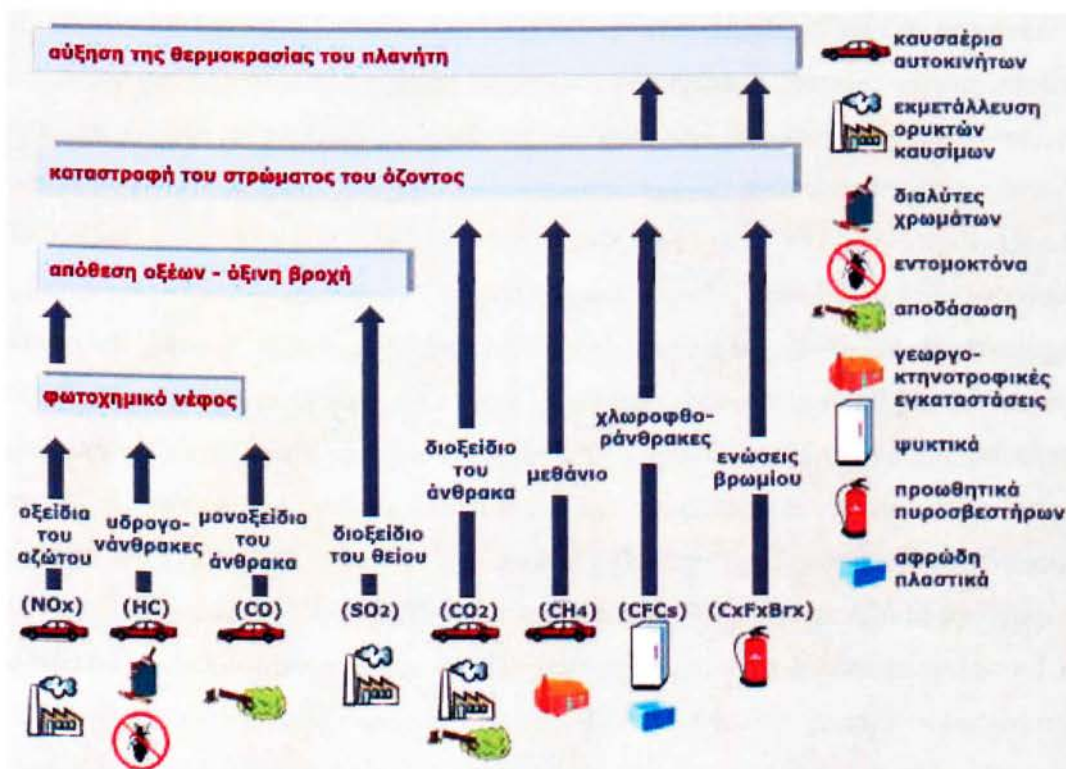
Τα φαινόμενα αυτά αναλύονται συνοπτικά παρακάτω:

Φωτοχημικό νέφος. Προκαλείται από την αντίδραση μιας σειράς ουσιών, οι οποίες παράγονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στις ουσίες αυτές, που ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι, συγκαταλέγονται τα οξειδία του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και διάφοροι υδρογονάνθρακες. Στα προϊόντα αντίδρασης τους, που ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι, ανήκουν το όζον και το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN). Τόσο οι πρωτογενείς, όσο και οι δευτερογενείς ρύποι προκαλούν σοβαρές χρόνιες παθήσεις και καρκίνο. Το CO, ο απολακούμενος «σιωπηλός δολοφόνος» καθώς είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο, δεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων και έτσι εμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου στους ιστούς, προκαλώντας το θάνατο. Το CO προέρχεται από την ατελή κάυση ορυκτών καυσίμων. Στη λεκάνη της Μεσογείου το πρόβλημα της φωτοχημικής ρύπανσης είναι πολύ πιο έντονο από ότι στην υπόλοιπη Ευρώπη, κυρίως λόγω της έντονης ηλιοφάνειας. Ειδικά η Αθήνα θεωρείται «πόλη-μοντέλο» φωτοχημικής ρύπανσης, στην οποία συμβάλλουν πολλοί λόγοι, όπως είναι το κυκλοφοριακό και ο υπερπληθυσμός.

Όξινη βροχή. Τα οξειδία του αζώτου και του θείου που απελευθερώνεται από την καύση υγρών καυσίμων επιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και μετατρέπονται σε νιτρικό και θειώδες οξύ αντίστοιχα. Τα οξέα αυτά επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης διαλυμένα στο νερό της βροχής, στο χιόνι και στο χαλάζι. Η παρουσία αυτών των οξέων στο νερό της βροχής ευθύνεται για το όξινο pH της με αποτέλεσμα να δημιουργείται το φαινόμενο της

όξινης βροχής. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου καταστρέφεται το φύλλωμα των δέντρων, ελαττώνεται η γονιμότητα του εδάφους και θανατώνονται οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος. Η στιβάδα αυτή βρίσκεται στην κατώτερη στρατόσφαιρα και παίζει σπουδαίο ρόλο στη διατήρηση της ζωής, καθώς απορροφά ένα σημαντικό μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή έχει θανατηφόρο δράση στους μονοκύτταρους οργανισμούς, προκαλεί μεταλλάξεις στο DNA, ενοχοποιείται για τον καταρράκτη και για την εμφάνιση καρκίνου του δέρματος.



ΕΙΚΟΝΑ 1: Απεικόνιση όλων των αέριων ρύπων που ευθύνονται τόσο για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης και τις επακόλουθες κλιματικές αλλαγές αλλά και πολυάριθμα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως είναι η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, η όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος. Επίσης, παρουσιάζονται και όλες οι ζημιολογικές ανθρώπινες δραστηριότητες που οδηγούν στην εκπομπή αυτών των αερίων. Αυτές περιλαμβάνουν την εκπομπή αερίων από τους κινητήρες αυτοκινήτων, την εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, η χρήση μη-βιοδιασώμενων εντομοκτόνων και φυτοφαρμάκων, η αποψίλωση των δασών, η χρήση ψυκτικών και προωθητικών αερίων, όπως είναι οι χλωροφθοράνθρακες.)

Από τη δεκαετία του 1970 παρατηρήθηκε μια βαθμιαία εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος λόγω της έκλυσης των χλωροφθορανθράκων (Freon) που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά υγρά στα ψυγεία και στα κλιματιστικά και ως προωθητικά αέρια στα σπρέι. Αυτή η εξασθένηση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας της υπεριώδους ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Η αντικατάσταση τους από τους υδροφθοράνθρακες έγινε σε μια προσπάθεια αναστολής αυτού του φαινομένου. Βέβαια η έκταση της καταστροφής που έχει ήδη πραγματοποιηθεί είναι ανυπολόγιστη.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

3.1. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις αποδεκτής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μία συνεχή ροή κι επειδή δεν μπορεί να αποθηκευτεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της. Ένα ΣΗΕ από άποψη έκτασης, μπορεί να είναι εθνικό, περιφερειακό ή ιδιωτικό και αναλόγως αν υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσής του σε μεγαλύτερο δίκτυο, το σύστημα αυτό μπορεί να είναι είτε διασυνδεδεμένο είτε αυτόνομο. Ο λόγος που επιδιώκεται όπου είναι εφικτό από τεχνοοικονομικής απόψεως να υπάρχει διασύνδεση είναι γιατί αυτό εξασφαλίζει σταθερότητα στην τάση και τη συχνότητα του δικτύου.

Σε περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η διασύνδεση, το δίκτυο καλείται να λειτουργεί αυτόνομα. Τέτοια συστήματα συναντώνται ευρέως σε ελληνικά νησιά, όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης στο Εθνικό δίκτυο. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα λειτουργούν 38 αυτόνομα ενεργειακά συστήματα που καλύπτουν τις ανάγκες 50 νησιών. Οι κύριες διαφορές των αυτόνομων ενεργειακά συστημάτων σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ενέργειας είναι οι εξής:

Τα αυτόνομα συστήματα είναι πιο επιρρεπή σε απότομες μεταβολές του φορτίου και οι επιμέρους διατάξεις του πρέπει να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε αυτές.

δεν υπάρχει η δυνατότητα κατανομής του φορτίου που συναντάται στο διασυνδεδεμένο σύστημα, και έτσι, κάθε σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση αυτόνομα να αντιμετωπίζει τις όποιες δυσκολίες κάλυψης αναγκών. Ο συντελεστής φορτίου είναι συνήθως, σχετικά με το μέγεθος του συστήματος, αρκετά χαμηλός. Αυτό οφείλεται στην υψηλή ζήτηση που παρουσιάζεται κάποιες μέρες τον χρόνο και χαμηλής ζήτησης τον υπόλοιπο. Ο χαμηλός συντελεστής φορτίου προϋποθέτει και αυξημένο ενεργειακό απόθεμα, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε υψηλό επενδυτικό κόστος

Εξαιτίας του συγκεντρωτικού χαρακτήρα της παραγωγής, μειώνεται η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές.

3.2. Ρύθμιση Συχνότητας ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται συνήθως (εκτός από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν μηχανές επαγωγής ή συνεχούς ρεύματος) από σύγχρονες γεννήτριες που μετατρέπουν σε ηλεκτρική τη μηχανική ισχύ, την οποία απορροφούν από την κινητήρια μηχανή. Για την ομαλή λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητο όλες οι διασυνδεδεμένες γεννήτριες να βρίσκονται σε συγχρονισμό, να περιστρέφονται δηλαδή οι δρομείς τους με την ίδια γωνιακή ταχύτητα σε ηλεκτρικά ακτίνια ανά δευτερόλεπτο.

Κάθε σύγχρονη γεννήτρια διαθέτει μία διάταξη ελέγχου των στροφών της, ώστε να παραμένει πάντα πολύ κοντά στην σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, στην ταχύτητα που αντιστοιχεί στην ονομαστική συχνότητα του συστήματος (50 Hz).

Σε ένα αυτόνομο σύστημα που τροφοδοτείται από μία και μόνο γεννήτρια η συχνότητα εξαρτάται αποκλειστικά από την ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας και άρα από το ρυθμιστή στροφών της. Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει περισσότερες από μία γεννήτριες οι ρόλοι των ρυθμιστών στροφών διαφοροποιούνται: κάποιες γεννήτριες αναλαμβάνουν να διατηρούν σταθερή τη συχνότητα, η οποία είναι κοινή για ολόκληρο το σύστημα. Αυτές είναι οι ρυθμίζουσες μονάδες. Στις υπόλοιπες ο ρυθμιστής χρησιμοποιείται κυρίως για να κρατά σταθερή την παραγωγή της γεννήτριας στην επιθυμητή τιμή, η οποία έχει προκύψει σύμφωνα με κάποια λογική κατανομής του συνολικού φορτίου

του συστήματος. Συνεπώς, ο έλεγχος της συχνότητας και ο έλεγχος του φορτίου κάθε γεννήτριας αποτελούν ένα ενιαίο πρόβλημα ελέγχου.

3.3. Μικρά Υδροηλεκτρικά

3.3.1. Βασική αρχή

Σχεδόν το ένα τέταρτο της ηλιακής ενέργειας που καταφθάνει στην επιφάνεια της γης προκαλεί την εξάτμιση του νερού από τις θάλασσες, τις λίμνες και τους νερόλακκους. Μέρος της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται για την ανύψωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα (έναντι στη βαρυτική έλξη της γης), όπου τελικά υγροποιείται και σχηματίζεται βροχή ή χιόνι. Όταν βρέχει στους λόφους ή χιονίζει στα βουνά, ένα μικρό ποσοστό της εισαγόμενης ηλιακής ενέργειας παραμένει αποθηκευμένο. Έτσι, σε οποιοδήποτε ύψος επάνω από τη στάθμη της θάλασσας το νερό αντιπροσωπεύει αποθηκευμένη "βαρυτική" ενέργεια.

Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει καταφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει. Έτσι, το αποθηκευμένο νερό σ' έναν ταμιευτήρα πίσω από ένα φράγμα περιέχει σημαντική "δυναμική" ενέργεια καθόσον, δοθείσης της ευκαιρίας, εάν σπάσει το φράγμα θα διαρρεύσει πολύ γρήγορα ο μεγάλος αυτός όγκος του νερού. Αυτό θα προκαλέσει όλεθρο στο κατόπι του, ως αποτέλεσμα της απότομης απελευθέρωσης ενός μεγάλου ποσού ενέργειας.

Για την απόληψη αυτής της ενέργειας σε μια ελεγχόμενη μορφή, μπορεί να εκτραπεί σ' ένα σωλήνα ένα μέρος ή όλο το νερό ενός φυσικού υδάτινου διαύλου. Στη συνέχεια, μπορεί να οδηγηθεί ως ένα ρεύμα νερού υπό πίεση σε ένα υδροτροχό ή στροβιλοτροχό, έτσι ώστε το νερό που προσπίπτει στα πτερύγια να προκαλεί την περιστροφή του τροχού και την παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Στους νερόμυλους, μεγάλοι ξύλινοι υδροτροχοί περιστρέφονται αργά ώστε να στρέφουν τις μυλόπετρες για το άλεσμα του σιταριού. Παρόμοιες αρχές χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση νερού, την κοπή ξύλων και την οδήγηση απλών μηχανών σε εργοστάσια. Σήμερα, ένας σύγχρονος στρόβιλος συνδέεται σε μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στη συνέχεια μεταδίδεται στο σημείο όπου υπάρχει ζήτηση αυτής.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η μεγαλύτερη και πιο ώριμη εφαρμογή ανανεώσιμης ενέργειας, με περίπου 678.000 MW εγκατεστημένης ισχύος, τα οποία παρήγαγαν το 1998 πάνω από το 22% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως (2564 TWh/έτος). Στη Δυτική Ευρώπη, τα υδροηλεκτρικά συνεισέφεραν 520 TWh ηλεκτρικής ενέργειας το 1998, ή το 19% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε. (αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό την εκπομπή περίπου 70 εκατομ. τόνων CO₂ ετησίως). Παρά το μεγάλο υφιστάμενο υδροηλεκτρικό δυναμικό, υπάρχουν ακόμη περιθώρια για περαιτέρω ανάπτυξη καθώς, σύμφωνα με τις περισσότερες εκτιμήσεις, αυτό αποτελεί μόνο το 10% περίπου του συνολικού παγκόσμιου βιώσιμου υδροδυναμικού.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα Μικρής κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα (ΜΥΗΣ), εφόσον τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα εν γένει δεν θεωρούνται ως συστήματα αξιοποίησης των ΑΠΕ. Γενικά, υπάρχει η αντίληψη ότι τα μεγάλα φράγματα μεταβάλλουν το οικοσύστημα, αφού εγκαθίστανται σε περιοχές φυσικών ρευμάτων και μειώνουν το οξυγόνο του νερού. Οι ταμιευτήρες είναι λίμνες αδρανούς ή λιμνάζοντος ύδατος, οπότε είναι αφιλόξενοι για τα ενδημικά είδη ψαριών. Κατάντη προκαλούν εναλλασσόμενες περιόδους λειψυδρίας ακολουθούμενες από ορμητικούς κυματισμούς που διαβρώνουν το έδαφος και τη βλάστηση.

Τα ΜΥΗΣ είναι κυρίως "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή νερού και επομένως δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων, αν και όπου αυτά υπάρχουν ήδη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα είναι επιβοηθητικά. Δεν υφίσταται κάποια γενική διεθνής παραδοχή για τον ορισμό των ΜΥΗΣ, το ανώτερο όριο των οποίων ποικίλλει μεταξύ 2,5 και 25 MW σε διάφορες χώρες, αλλά γίνεται γενικώς αποδεκτή η τιμή των 10 MW, όπως συμβαίνει με την Ευρωπαϊκή Εταιρεία Μικρών Υδροηλεκτρικών (ESHA).

Στα επόμενα, όπου γίνεται αναφορά σε ΜΥΗΣ θα εννοείται κάθε υδροηλεκτρικό σύστημα με ονομαστική ισχύ 10 MW ή μικρότερη. Αυτά μπορούν να υποδιακριθούν περαιτέρω σε "μίνι υδροηλεκτρικά", συνήθως οριζόμενα ως τα συστήματα εκείνα με ισχύ <500 kW, και σε "μικρο-υδροηλεκτρικά", για τα σχήματα δυναμικού <100 kW. Όποιος ορισμός και αν χρησιμοποιηθεί για το μέγεθος, τα ΜΥΗΣ αποτελούν μια από τις πιο ήπιες προς το περιβάλλον μορφές παραγωγής ενέργειας, βασιζόμενα στη χρήση μιας μη ρυπογόνου ανανεώσιμης πηγής και απαιτώντας μικρές επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο.

Εξάλλου, έχουν το δυναμικό να επιδράσουν σημαντικά στην υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων καθώς, σε αντίθεση με πολλές άλλες ΑΠΕ, τα ΜΥΗΣ μπορούν γενικά να παράγουν ένα ποσό ηλεκτρισμού σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ανάλογα με τη ζήτηση (δηλ. δεν απαιτούν συστήματα αποθήκευσης ή εφεδρείας), τουλάχιστον στις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες υφίσταται επαρκής ροή νερού, και σε κόστος πολλές φορές ανταγωνιστικό των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Έτσι, ένας τυπικός ΜΥΗΣ των 5 MW υποκαθιστά 1400 τόνους/έτος ορυκτού καυσίμου, αποτρέπει την εκπομπή 16000 τόνων CO₂ και πάνω από 100 τόνων SO₂ ανά έτος, ενώ καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό περισσότερων από 5000 οικογενειών.

3.3.2. Σχεδιασμός των μικρών υδροηλεκτρικών

Κατά το σχεδιασμάτων μικρών υδροηλεκτρικών απαιτούνται πολλά στάδια τεχνικών και οικονομικών μελετών για να προσδιοριστεί εάν μία θέση είναι κατάλληλη από τεχνικής και οικονομικής πλευράς. Η βιωσιμότητα του κάθε πιθανού έργου είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη θέση. Η παραγωγή ισχύος εξαρτάται από την παροχή και το ύψος της πτώσης του διαθέσιμου νερού. Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί εξαρτάται από την ποσότητα του διαθέσιμου νερού και τη μεταβλητότητα της ροής κατά τη διάρκεια του έτους.

Η οικονομικότητα μιας θέσης εξαρτάται από την ισχύ (δυναμικό) και την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από το έργο, εάν μπορεί να πωληθεί η ισχύς, και από την τιμή πώλησης της ισχύος. Γενικά, η αξία της ισχύος που παράγεται για κατανάλωση σε μια απομακρυσμένη κοινότητα είναι σημαντικά μεγαλύτερη απ' ό,τι για τα συστήματα που συνδέονται σε κεντρικό δίκτυο. Εντούτοις, οι απομακρυσμένες κοινότητες μπορεί να μην είναι σε θέση να χρησιμοποιούν όλη τη διαθέσιμη ενέργεια από τους ΜΥΗΣ ή να μην μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ενέργεια όταν αυτή είναι διαθέσιμη, λόγω εποχιακών μεταβολών στη ροή του νερού και στην ενεργειακή κατανάλωση.

Οι μελέτες σχεδιασμού είναι ουσιαστικά μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία συγκρίνονται συνεχώς τα κέρδη και τα κόστη του έργου. Ωστόσο, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης πρέπει να προχωρήσουν στη λήψη μιας απόφασης για το κατά πόσο θα προβούν ή όχι σε μια πλήρη μελέτη σκοπιμότητας μέσω των ακόλουθων βημάτων:

Αναγνώριση της περιοχής.

Αξιολόγηση των διαθέσιμων για το σταθμό υδάτινων πόρων και, κατά συνέπεια, της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής του.

Προκαταρκτικός καθορισμός και αξιολόγηση του κόστους της εγκατάστασης.

Προκαταρκτική εκτίμηση των οικονομικών του έργου, μετά από διερεύνηση των εναλλακτικών επιλογών χρηματοδότησης, των επιχορηγήσεων που διατίθενται από τις εθνικές κυβερνήσεις ή από την Ε.Ε., των φορολογικών κινήτρων, κλπ.

Ανασκόπηση των ρυθμιστικών απαιτήσεων και των διοικητικών διαδικασιών.

Λήψη απόφασης για το εάν θα πραγματοποιηθεί ή όχι μια μελέτη σκοπιμότητας.

3.3.3. Ο υδάτινος πόρος και το δυναμικό του

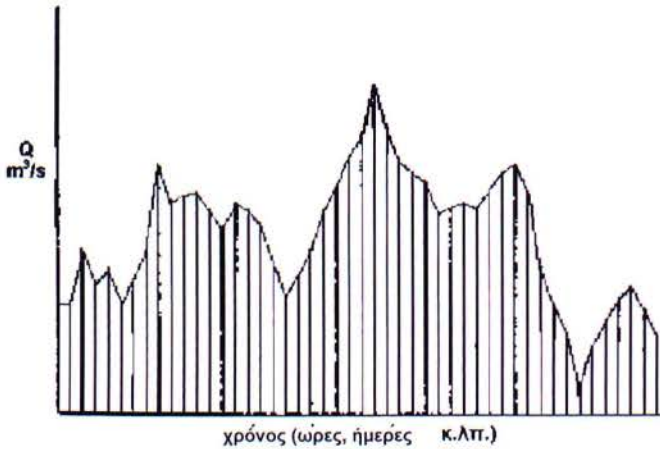
3.3.3.1. Υδρολογία

Το ουσιαστικό προαπαιτούμενο για την υδροηλεκτρική παραγωγή είναι ένα ρεύμα με ένα συνδυασμό επαρκούς παροχής και ύψους πτώσης (η κάθετη απόσταση της υδατόπτωσης για ηλεκτροπαραγωγή, δηλ. μεταξύ της ανώτερης και της κατώτερης στάθμης). Η ισχύς που παράγεται είναι ανάλογη του γινομένου αυτών των δύο μεταβλητών. Το ύψος πτώσης μπορεί να μετρηθεί εύκολα με μία τοπογραφική στάθμη και έναν ιστό, ή ακόμα και με ένα ταχύμετρο ή ένα κλισίμετρο, και αφότου καθοριστεί μπορεί να υποτεθεί ότι παραμένει αμετάβλητο ως προς το χρόνο.

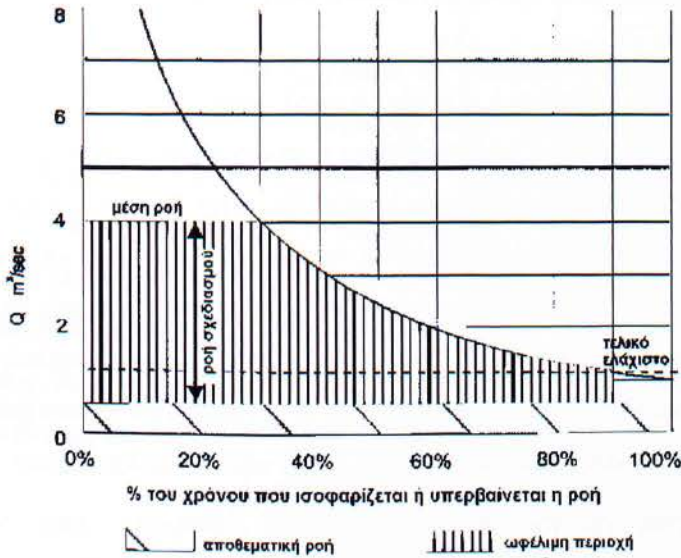
Η παροχή, από την άλλη, επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι οι βροχοπτώσεις, η φύση του εδάφους, η κάλυψη της βλάστησης, η θερμοκρασία και η διάρθρωση της της χρήσης των γαιών στην περιοχή απορροής. Στην πραγματικότητα, η μέτρηση της παροχής σε ένα σημείο κάθε φορά έχει μικρή χρησιμότητα στη σχεδίαση, αφού η παροχή αυτή δεν θα είναι αντιπροσωπευτική της διαθέσιμης τον περισσότερο χρόνο παροχής. Έτσι, στη μελέτη οποιουδήποτε πιθανού υδροηλεκτρικού έργου εμπλέκεται η επιστήμη της υδρολογίας, δηλαδή η μελέτη της βροχόπτωσης και της ροής των ρευμάτων, η μέτρηση των λεκανών και των επιφανειών απορροής, της ικανότητας εξάτμισης και της επιφανειακής γεωλογίας, παράγοντες οι οποίοι στο σύνολο τους επηρεάζουν την ποσότητα της ροής και τη μεταβλητότητα της.

3.3.3.2. Διαστασιολόγηση ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής

Η ΚΔΡ παρουσιάζει το ποσοστό του χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου η απορροή γίνεται ίση ή υπερβαίνει συγκεκριμένες τιμές και παρέχει έναν τρόπο για τον γρήγορο προσδιορισμό Το πρώτο ουσιαστικό βήμα για τη διαμόρφωση ενός ΜΥΗΣ είναι η εξεύρεση αρχείων της βροχόπτωσης και της ροής του ρεύματος στη συγκεκριμένη επιφάνεια και λεκάνη απορροής για όσο το δυνατό μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Στοιχεία σχετικά με τα επιφανειακά ύδατα και τη βροχόπτωση συλλέγονται σε κάθε χώρα και δημοσιεύονται ετησίως, αν και συχνά με σημαντική καθυστέρηση, από μία ή περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) διατηρεί μια βάση δεδομένων, την HYDROINFO, η οποία, μεταξύ των άλλων στοιχείων, παρέχει και έναν κατάλογο των αρμόδιων για το σκοπό αυτό υπηρεσιών, για τις χώρες μέλη του.



Σχήμα 3.1. Τυπικό υδατογράφημα



Σχήμα 3.2. Τυπική καμπύλη διάρκειας της ροής (ΚΔΡ)

Με τη βοήθεια ενός υδρογραφήματος (σχήμα 3.1) που παρέχεται από την αρμόδια υπηρεσία, μπορεί να εξαχθεί μια καμπύλη διάρκειας της ροής (ΚΔΡ), όπως αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2, με την κατάταξη των δεδομένων κατά μέγεθος αντί χρονολογικά. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εκτιμηθεί το δυναμικό της θέσης. Όπως προβλέπεται, στο άμεσο μέλλον καθένας θα έχει πρόσβαση σε καλοσχεδιασμένες, μηχανογραφημένες βάσεις υδρολογικών δεδομένων, το οποίο που θα διευκολύνει την εξεύρεση των καμπυλών διάρκειας της ροής για οποιαδήποτε πιθανή θέση όπου θα παρουσιάζεται η ποσότητα του διαθέσιμου υδάτινου πόρου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από στροβίλους διαφορετικών μεγεθών. Αναφερόμενοι στο σχήμα 3.2, το οποίο αποτελεί την ΚΔΡ ενός ποταμού σε μια προτεινόμενη υδροηλεκτρική θέση, η διαθέσιμη από τη ροή ισχύς (P) προφανώς μεταβάλλεται με το χρόνο, δεδομένου ότι μεταβάλλεται η παροχή Q .

Υποθέτοντας, καταρχήν, ένα συνολικό βαθμό απόδοσης του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού της τάξης του 0,81, η ισχύς P δίνεται από την εξίσωση:

$$P=8QH \tag{3.1}$$

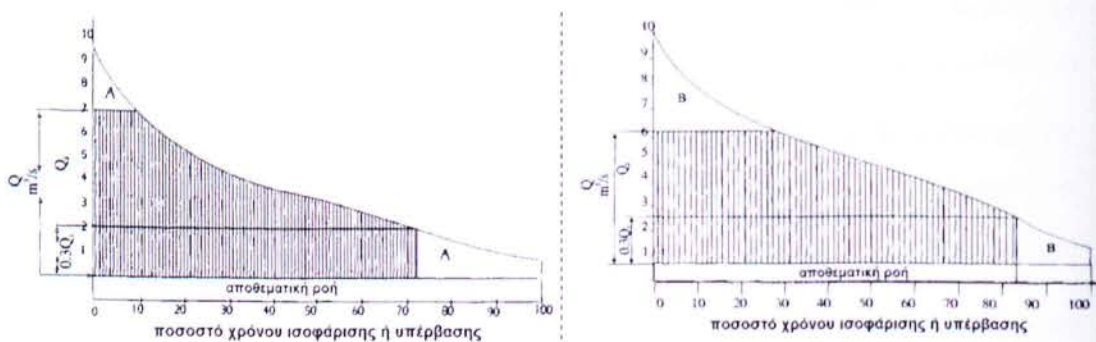
όπου Q είναι η παροχή (m^3/s), και H είναι το καθαρό ύψος πτώσης (m). Εάν το ύψος πτώσης είναι σταθερό ή σχεδόν σταθερό, η εξίσωση (3.1) μπορεί να γραφτεί ως:

$$P=cQ \tag{3.2}$$

όπου c είναι μια σταθερά. Έτσι, κάθε συντεταγμένη της ΚΔΡ αντιπροσωπεύει ένα πιθανό δυναμικό ισχύος.

Δεν μπορεί όμως να αξιοποιηθεί όλη αυτή η ισχύς. Αρχικά, πρέπει να αφαιρεθεί από την ΚΔΡ η αποθεματική ροή, καθώς πρέπει να επιτρέπεται η συνέχιση της φυσικής ροής ανά πάσα στιγμή. Αυτή αντιστοιχεί στη μη γραμμοσκιασμένη ζώνη στη βάση της ΚΔΡ (σχήμα 3.2). Η υπόλοιπη περιοχή επάνω από αυτήν αποτελεί την οφέλιμη ροή. Εάν επρόκειτο να εγκατασταθεί ένας στρόβιλος για την αξιοποίηση όλης αυτής της περιοχής, αυτός θα έπρεπε να είναι πολύ μεγάλος και ακριβός, παρότι θα λειτουργούσε στο μέγιστο δυναμικό του για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η ενέργεια που κερδίζεται, σε σύγκριση με κάποιο μικρότερο δυναμικό, δεν δικαιολογεί το επιπλέον κόστος του εξοπλισμού και των σωληνώσεων.

Υπάρχει ένας επιπλέον λόγος για την επιλογή μικρότερου δυναμικού, αφού κανένας στρόβιλος δεν μπορεί να λειτουργεί σε όλο το εύρος από τη μηδενική έως την ονομαστική του παροχή. Πολλοί μπορούν να λειτουργούν μόνο πάνω από το 60% περίπου της ονομαστικής παροχής τους. Ακόμη και ο καλύτερος δεν μπορεί, υπό την έννοια αυτή, να χρησιμοποιείται κάτω από το ένα πέμπτο της ονομαστικής παροχής. Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η ονομαστική παροχή που επιλέγεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακοπή λειτουργίας στις χαμηλές παροχές. Το σχήμα 3.3 απεικονίζει το γεγονός αυτό για ένα στρόβιλο του οποίου η διακοπή εκτιμάται στο 30% της ονομαστικής παροχής (ή σχεδιασμού). Οι περιοχές Α και Β είναι μη αξιοποιήσιμες, οπότε αν και ο σταθμός παραγωγής στην πρώτη περίπτωση έχει κατά 25% μεγαλύτερο δυναμικό από αυτόν της δεύτερης, είναι φανερό ότι παράγει ελάχιστα περισσότερη ενέργεια, με μια πολύ μεγαλύτερη επένδυση.



Σχήμα 3.3. Καμπύλες διάρκειας ροής για διαφορετικούς στρόβιλους

3.3.3.3. *Ετήσια παραγωγή ενέργειας*

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί σε μια πρώτη προσέγγιση με τη μέτρηση της χρησιμοποιήσιμης περιοχής κάτω από την ΚΔΡ, τη μετατροπή της σε μια πραγματική ποσότητα νερού για ένα έτος, και πολλαπλασιάζοντας την επί 9,8 (το ειδικό βάρος 1 m^3 νερού σε kN), επί το καθαρό ύψος πτώσης και επί το μέσο βαθμό απόδοσης (εκτιμάται σε 0,81). Το αποτέλεσμα είναι η ετήσια ενέργεια εκφρασμένη σε kJ (kiloJoules), τα οποία μετατρέπονται σε kWh διαιρώντας με το 3600. Αυτό το είδος προκαταρκτικής εκτίμησης συνήθως επαρκεί για να επιτρέψει τη λήψη μιας απόφασης σχετικά με τη διεξαγωγή μιας πιο λεπτομερούς μελέτης σκοπιμότητας.

3.3.3.4. *Επιλογή θέσης και βασική διαμόρφωση*

Δεδομένου ότι αναγκαίες απαιτήσεις για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι οι επαρκείς τιμές ύψους πτώσης και παροχής, η επιλογή της θέσης καθορίζεται από την ύπαρξη και των δύο αυτών χαρακτηριστικών. Καθόσον υπάρχουν τόσοι πολλοί αλληλοσυσχετιζόμενοι παράγοντες, είναι δύσκολο να καθοριστεί μια σαφής διαδικασία για την επιλογή μιας θέσης. Μια προκαταρκτική αναγνωριστική μελέτη θα πρέπει να περιλάβει τον καθορισμό του δυναμικού παραγωγής, την εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος, την αναγνώριση των απαιτούμενων εργασιών στο χώρο, τον προσδιορισμό των κρίσιμων ζητημάτων (περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί περιορισμοί), και μια προκαταρκτική μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας.

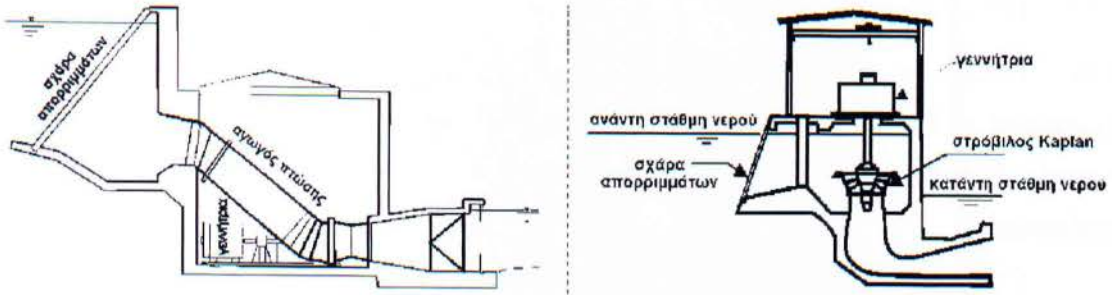
Τα μικρά υδροηλεκτρικά σχήματα μπορούν να είναι είτε μεγάλου είτε μικρού ύψους πτώσης, ανάλογα με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της διαθέσιμης θέσης. Οι θέσεις μεγάλου ύψους πτώσης γενικά κοστίζουν λιγότερο για την ανάπτυξη τους από τις θέσεις μικρού ύψους πτώσης, αφού για την ίδια παραγωγή ισχύος η ροή μέσω του στρόβιλου και οι σχετικές υδραυλικές κατασκευές θα είναι μικρότερες. Σ' έναν ποταμό με μια συγκριτικά απότομη κλίση σ' ένα μέρος του ρου του, η υψομετρική διαφορά μπορεί να αξιοποιηθεί εκτρέποντας το σύνολο ή μέρος της ροής, και επιστρέφοντας το στον ποταμό αφότου διέλθει από το στρόβιλο. Το νερό μπορεί να μεταφερθεί από την υδροληψία απευθείας στο στρόβιλο μέσω ενός σωλήνα κατάθλιψης.

Δυστυχώς, οι καταθλιπτικοί σωλήνες είναι ακριβοί, έτσι μια φθηνότερη εναλλακτική λύση παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει ένα φράγμα ή έναν υδροφράκτη, ένα στόμιο εισόδου από τον ποταμό, και ένα ισοϋψές ανοικτό κανάλι που εκτείνεται κατά μήκος της κοιλάδας του ποταμού καταλήγοντας σε μία περιοχή υδροληψίας, από όπου ένας σωλήνας κατάθλιψης άγει το νερό στο στρόβιλο στο σταθμό ισχύος. Εάν τα τοπογραφικά ή τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους είναι δυσμενή, το ανοικτό κανάλι μπορεί να μην αποτελεί την καλύτερη λύση. Σ' αυτές τις συνθήκες, ένας σωλήνας υποπίεσης, αν και συνήθως ακριβότερος, μπορεί να αποτελέσει μια οικονομικότερη λύση.



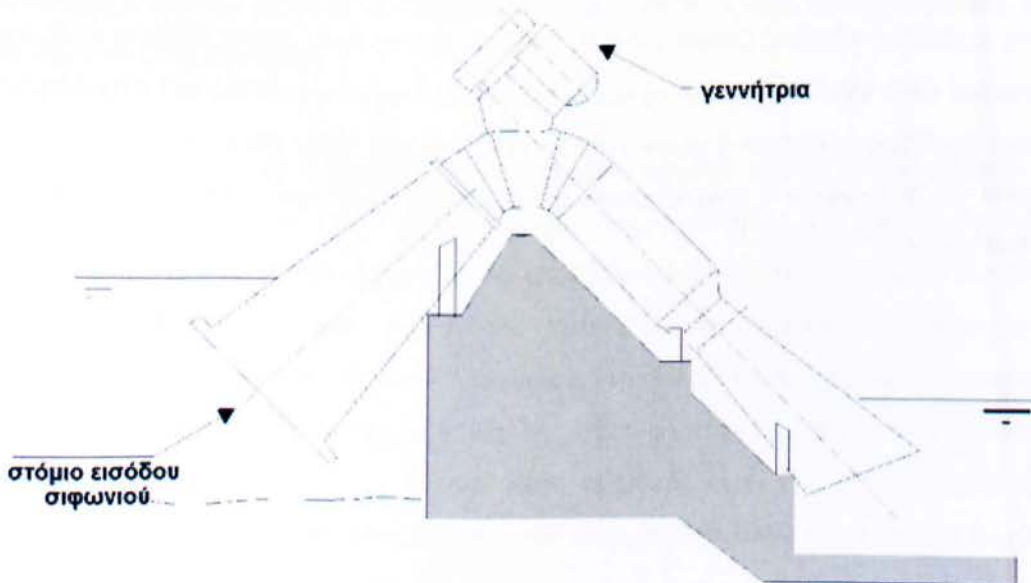
Σχήμα 3.4 Παράσταση ενό ΜΥΗ μεγάλου ύψους πτώσης

Όταν όλοι οι αγωγοί ισχύος, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής υδροληψίας, είναι κατά κάποιο τρόπο καλυμμένοι, χρησιμοποιούνται φρεάτια εκτόνωσης για τη μείωση των πιθανών ξαφνικών έντονων διακυμάνσεων της πίεσης. Σε έργα μικρού ύψους πτώσης είναι δυνατές δύο διατάξεις. Η μία χρησιμοποιεί έναν υδροφράκτη εκτροπής και η δομή της (σχήμα 3.5 - αριστερά) είναι παρόμοια με την προαναφερθείσα για τα μεγάλα ύψη πτώσης, παρόλο που το κανάλι είναι συνήθως μικρού μήκους όπως και ο αγωγός πτώσης (ή δεν υπάρχει καθόλου). Η άλλη διάταξη περιλαμβάνει ένα φράγμα με ενσωματωμένο στόμιο εισόδου και σταθμό ισχύος (σχήμα 3.5 - δεξιά).



Σχήμα 3.5. Διατάξεις μικρών υδροηλεκτρικών γαιηλού ύψους πτώσης

Μια άλλη δυνατότητα είναι να εγκατασταθεί ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής σε ένα υπάρχον συμβατικό φράγμα που έχει κατασκευαστεί για ποικίλες χρήσεις (έλεγχος ροής, άρδευση, απόσπαση ύδατος, κλπ.). Το νερό εισάγεται στο στρόβιλο μέσω του προκατασκευασμένου ως ενιαίο τμήμα της δομής του φράγματος αγωγού πτώσης ή, εάν το φράγμα δεν είναι πολύ υψηλό, μέσω ενός σιφωνικού στομίου εισόδου (σχήμα 3.6). Στη δεύτερη περίπτωση, ο αγωγός πτώσης φέρεται επάνω από το φράγμα πριν πάρει κλίση προς τον στρόβιλο, ο οποίος μπορεί να εδράζεται είτε στην κορυφή του φράγματος είτε, συνηθέστερα, στην κατάντη πλευρά. Στις περισσότερες σιφωνικές εγκαταστάσεις το ύψος πτώσης κυμαίνεται από 1,8 έως 11 m, αν και υπάρχουν κάποια παραδείγματα με ύψη πτώσης έως και 30 m.



Σχήμα 3.6. Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής σε υπάρχον συμβατικό φράγμα

3.3.4. Έργα πολιτικού μηχανικού

Μόλις επιλεγεί η περιοχή και αποφασιστεί η βασική διάταξη, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί με λεπτομέρεια το σχήμα. Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία όλων των δυνατών βασικών συνιστωσών και παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να σχεδιαστούν.

3.3.4.1. Φράγματα και υδροφράχτες

Τα φράγματα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των υδροηλεκτρικών έργων μεγάλης κλίμακας και χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν το διαθέσιμο ύψος πτώσης ή/και για να δημιουργήσουν μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Όταν το έδαφος είναι σχετικά επίπεδο, ένα φράγμα που ανυψώνει τη στάθμη του νερού πίσω από αυτό μπορεί να παράσχει επαρκές ύψος πτώσης για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος. Ένα φράγμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση νερού σε περιόδους υψηλής ροής και τη διάθεση του σε περιόδους χαμηλής ροής.

Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους, στα σχήματα μικρής κλίμακας σπανίως χρησιμοποιούνται φράγματα. Πάντως, εάν είναι ευνοϊκές οι τοπογραφικές συνθήκες, μπορεί να δικαιολογηθεί η κατασκευή ενός φράγματος μικρής βαρύτητας για την αποθήκευση νερού κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης και τη διάθεση του τις ώρες αιχμής, όταν οι τιμές του ηλεκτρισμού είναι υψηλότερες. Στα σχήματα εκτροπής, ένας υδροφράκτης από σκυρόδεμα ή λιθοδομή με στέψη ένα μέτρο ή περισσότερο επάνω από την κοίτη του ποταμού (βλ. σχήμα 3.7) αρκεί για τη δημιουργία ενός επαρκούς βάθους νερού στο στόμιο εισόδου του καναλιού ή της σωλήνωσης.



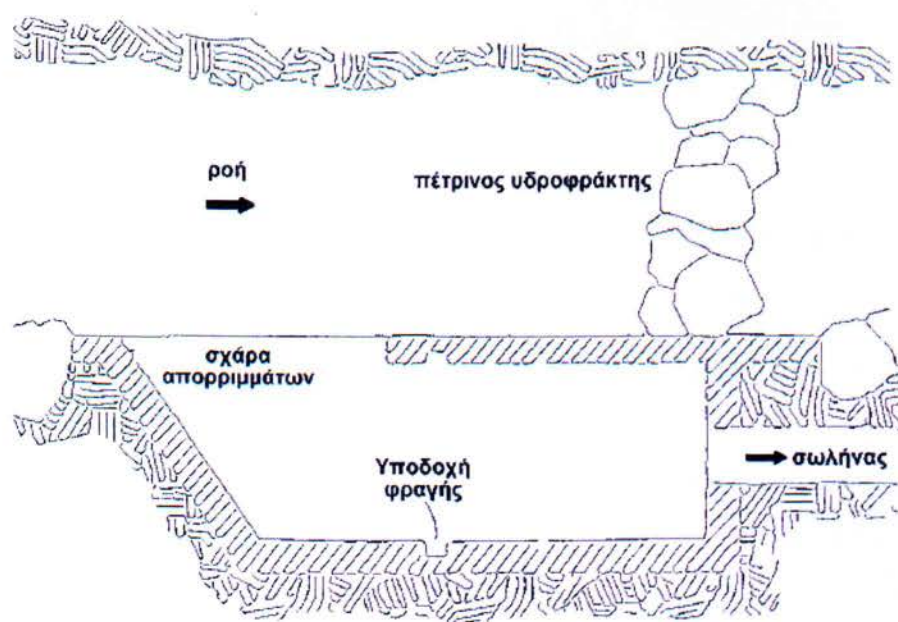
Σχήμα 3.7. Υδροφράκτης ενός μικρού υδροηλεκτρικού σχήματος εκτροπής

3.3.4.2. Στόμια εισόδου

Η λειτουργία της δομής του στομίου εισόδου είναι να κατευθύνει υπό ελεγχόμενες συνθήκες το νερό στον αγωγό πτώσης ή το κανάλι προσαγωγής. Το στόμιο εισόδου λειτουργεί ως μετάβαση μεταξύ ενός ρεύματος, που μπορεί να είναι από ένα ρυάκι μέχρι ένας ορμητικός χείμαρρος, και μίας ελεγχόμενης ως προς την ποιότητα και την ποσότητα ροής νερού. Η σχεδίαση του, βασιζόμενη σε γεωλογικές, υδραυλικές, δομικές και οικονομικές θεωρήσεις, απαιτεί ειδική προσοχή για να αποφευχθούν η περιττή συντήρηση και λειτουργικά προβλήματα που δεν μπορούν να διορθωθούν εύκολα και θα πρέπει να υπομένονται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Το βασικότερο κριτήριο στη σχεδίαση ενός στομίου εισόδου είναι ο προσανατολισμός του ως προς το ρεύμα, ως ένας τρόπος ελέγχου της ποσότητας και της ποιότητας του εισερχόμενου νερού. Οι ποταμοί τείνουν να αποθέτουν ιζήματα στις εσωτερικές πλευρές των καμπυλών, οπότε το στόμιο εισόδου δεν πρέπει να τοποθετείται στο εσωτερικό της καμπύλης, προκειμένου να αποφευχθεί το φράξιμο της εισόδου από ιζήματα. Δεν συνίσταται όμως ούτε η εξωτερική πλευρά μιας καμπύλης, αφού φερτές ύλες από το νερό μπορούν να βλάψουν τη λειτουργία του. Η ιδανική θέση εκτροπής είναι ένα σχετικά ευθύ τμήμα, σταθεροποιούμενο από επανθήσεις βράχων εάν είναι δυνατό, όπου να μπορεί να θεμελιωθεί ο υδροφράκτης.

Ο προσανατολισμός της εισόδου του στομίου ως προς το ρεύμα έχει μια καθοριστική επίδραση στη συσσώρευση απορριμμάτων μπροστά από τη σχάρα, η οποία μπορεί να αποτελέσει την αιτία για σημαντικά διαστήματα διακοπής της λειτουργίας και για δαπανηρή συντήρηση. Ο καλύτερος προσανατολισμός είναι η κεντρική γραμμή της εισόδου του στομίου να κείται παράλληλα ή υπό μικρή γωνία ως προς τον άξονα του υπερχειλιστή, ώστε να απομακρύνονται αυτόματα τα απορρίμματα από τις συχνές πλημμυρίδες που αντιπαρέχονται τον υπερχειλιστή (σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8. Βέλτιστος προσανατολισμός της εισόδου της υδροληψίας

Μία από τις βασικές λειτουργίες του στομίου εισόδου είναι η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των φερτών υλών και ιζημάτων που μεταφέρονται από το εισερχόμενο νερό, οπότε στην είσοδο του στομίου τοποθετούνται σχάρες απορριμμάτων για την αποτροπή της εισόδου πλωτών φερτών υλών και μεγάλων λίθων. Μία τέτοια σχάρα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πλαίσια που κατασκευάζονται από μία σειρά από ισαπέχουσες παράλληλες μεταλλικές ράβδους, ενώ πρόσφατα έχουν εμφανιστεί και σχάρες απορριμμάτων που κατασκευάζονται από σκληρά πλαστικά.

Καθόσον οι πλαστικές ράβδοι μπορούν να έχουν διατομές μορφής αεροτομής, με αυτές προκύπτει λιγότερη τύρβη και μικρότερες απώλειες ύψους πτώσης. Το διάκενο των ράβδων κυμαίνεται από ένα καθαρό πλάτος 12mm για τους μικρούς στροβίλους τύπου Pelton μεγάλου ύψους πτώσης μέχρι ένα μέγιστο 150mm για τους μεγάλους στροβίλους τύπου

έλικας. Οι σχάρες μπορούν είτε να στερεώνονται στο πλαίσιο υποστήριξης με μπουλόνια από ανοξείδωτο χάλυβα, είτε να ολισθαίνουν σε κάθετες ράγες ώστε να αφαιρούνται και να αντικαθίστανται από φραγές όταν απαιτείται διακοπή της λειτουργίας για συντήρηση ή επισκευή.



Σχήμα 3.9. Μηχανικό χτένι στο στόμιο εισόδου ενός μικρού υδροηλεκτρικού

Οι σχάρες μπορούν να καθαρίζονται με το χέρι, και πρέπει να υπάρχει μια οριζόντια πλατφόρμα επάνω από την ανώτατη στάθμη του νερού για τη διευκόλυνση αυτής της λειτουργίας. Στα στόμια εισόδου ποταμών που περιέχουν μεγάλα ποσά φερτών υλών συνήθως προτιμάται η χρήση μηχανικών χτενιών (σχήμα 3.9). Όταν αναμένεται να εισέρχονται στο στόμιο εισόδου σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων ιζημάτων, είναι σημαντικό να αφαιρούνται τα σωματίδια μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιώντας μία διάταξη κατακράτησης του ιζήματος.

Η ιζηματοπαγίδα μπορεί να τοποθετηθεί αμέσως κατάντη του στομίου εισόδου, όπου μειώνεται η ταχύτητα της ροής. Όταν είναι καλά σχεδιασμένη πρέπει να είναι σε θέση να απομακρύνει όλα τα σωματίδια πάνω από 0,2 mm και ένα μεγάλο μέρος εκείνων με διαστάσεις μεταξύ 0,1 και 0,2 mm. Μια τέτοια κατασκευή είναι απαραίτητη για ύψη πτώσης πάνω από 100 m. Το στόμιο εισόδου πρέπει να έχει ενσωματωμένο έναν καλά σχεδιασμένο υπερχειλιστή, ώστε να διατηρείται σχετικά σταθερή η στάθμη του νερού από το κανάλι και μετά.

3.3.4.3. Κανάλια

Από το στόμιο εισόδου το νερό μεταφέρεται είτε κατευθείαν στο στρόβιλο μέσω ενός σωλήνα κατάθλιψης είτε με ένα κανάλι. Σε ένα κανάλι η παροχή είναι συνάρτηση της κατατομής της εγκάρσιας διατομής του, της κλίσης του, και της τραχύτητας του. Η εφαρμογή της υδραυλικής θεωρίας παρέχει αρκετά ακριβή αποτελέσματα για τα τεχνητά κανάλια όπου η διατομή τους έχει τυποποιημένο σχήμα και είναι γνωστή η επιφανειακή τραχύτητα των δομικών υλικών (έδαφος, σκυρόδεμα, χάλυβας ή ξύλο).

Η ταχύτητα του νερού σ' ένα κανάλι πρέπει να διατηρείται επάνω από μια ελάχιστη τιμή για να αποτραπεί η ιζηματοπόθεση και η ανάπτυξη υδρόβιων φυτών, αλλά κάτω από μια μέγιστη τιμή ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση, ειδικά στα μη επενδεδυμένα κανάλια. Για να κρατηθεί η ύψος σε αιώρηση μετά το στόμιο εισόδου, η ταχύτητα ροής πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,3-0,5 m/s. Εάν το κανάλι δεν έχει επένδυση και είναι κατασκευασμένο σε αμμώδες έδαφος, η ταχύτητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,40,6 m/s. Σε κανάλια με επένδυση τσιμέντου η ταχύτητα του διαυγούς νερού μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 10 m/s χωρίς κίνδυνο. Όταν το νερό περιέχει άμμο, χαλίκια ή πέτρες, είναι αποδεκτές ταχύτητες μέχρι 4 m/s.

Μπορεί να παρουσιαστούν εμπόδια κατά μήκος της ευθείας του καναλιού και για να παρακαμφθούν θα πρέπει αυτό να διέλθει πάνω, γύρω ή κάτω από αυτά. Η διάβαση ενός ρεύματος ή φαραγγιού απαιτεί τη χρήση ενός τεχνητού καναλιού, δηλ. κάποιου είδους επέκταση του καναλιού, με την ίδια κλίση και υποστηριζόμενο σε στύλους από σκυρόδεμα ή χάλυβα, ή σχημ στίζοντας κάποια γεφύρωση. Οι σωλήνες από χάλυβα αποτελούν συχνά την καλύτερη λύση, επειδή αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χορδή της κατασκευαζόμενης επιτόπου γεφύρωσης. Το πρόβλημα μπορεί επίσης να λυθεί με τη χρήση ανεστραμμένων σιφωνίων, τα οποία απαρτίζονται από μία διάταξη εισαγωγής και μία εξαγωγής οι οποίες συνδέονται με έναν καμπύλο σωλήνα.

Στο τέλος του καναλιού, αμέσως πριν από την είσοδο του αγωγού πτώσης, υπάρχει η περιοχή υδροληψίας. Αυτή, αν και μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να προσφέρει αποταμίευση νερού, συνήθως προσφέρει μόνο επαρκή αποταμίευση για την παροχή του πρόσθετου όγκου του νερού που απαιτείται κατά την εκκίνηση του στρόβιλου. Πρέπει να περιλαμβάνει έναν υπερχειλιστή, ένα στόμιο αποστράγγισης, μια σχάρα απορριμάτων και έναν εξαεριστήρα.

3.3.4.4. Αγωγοί πτώσης

Από τη περιοχή υδροληψίας το νερό μεταφέρεται στο στρόβιλο μέσω ενός σωλήνα κατάθλιψης ή ενός αγωγού πτώσης. Οι αγωγοί πτώσης μπορούν να εγκατασταθούν επάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ανάλογα με παράγοντες όπως είναι η φύση του εδάφους, το υλικό του αγωγού, οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος και οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, ένας εύκαμπτος και με μικρή διάμετρο πλαστικός αγωγός πτώσης μπορεί να τοποθετηθεί επί του εδάφους, ακολουθώντας το ανάγλυφο του με ελάχιστες ανάγκες για διαρρυθμίσεις. Διαφορετικά, πρέπει να θάβονται κάτω από το έδαφος μεγαλύτεροι αγωγοί πτώσης, υπό την προϋπόθεση ότι δεν απαιτούνται σημαντικές εκσκαφές σε βραχώδες έδαφος.

Η άμμος και τα χαλίκια που περιβάλλουν τον σωλήνα παρέχουν καλή μόνωση, και εξαλείφουν την ανάγκη για αγκυρώσεις και αρμούς διαστολής. Οι θαμμένοι αγωγοί πτώσης πρέπει να βάζονται και να καλύπτονται με προσοχή για να προστατεύεται η εξωτερική τους επιφάνεια από διάβρωση, αλλά, εφόσον δεν φθαρεί η προστατευτική επίστρωση κατά την εγκατάσταση, θα είναι ελάχιστη η περαιτέρω συντήρησή τους. Η λύση αυτή είναι η βέλτιστη από περιβαλλοντικής απόψεως, αφού το έδαφος μπορεί να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση και ο αγωγός δεν αποτελεί εμπόδιο στη μετακίνηση των άγριων ζώων.

Εάν ο στρόβιλος δεν λειτουργεί συνεχώς, ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι μεταβολές της θερμοκρασίας, οι οποίες προκαλούν θερμικές διαστολές ή συστολές. Η μετατόπιση μπορεί να διευθετηθεί με τη χρήση αρμών διαστολής ή σχεδιάζοντας τη διάταξη του σωλήνα με ελεύθερα κινούμενες καμπύλες. Ο αγωγός πτώσης συνήθως δομείται σε ευθείες ή σχεδόν ευθείες γραμμές, με αγκυρώσεις από σκυρόδεμα σε κάθε καμπύλη και έναν αρμό διαστολής ανάμεσα σε κάθε ζεύγος αγκυρώσεων. Οι αγκυρώσεις πρέπει να ανθίστανται στην ώση του αγωγού καθώς και στις δυνάμεις τριβής που προκαλούνται από τη διαστολή και τη συστολή του, οπότε πρέπει να θεμελιώνονται σε βράχο εάν είναι δυνατό.

Για τους αγωγούς πτώσης διατίθεται τελευταία μία ποικιλία υλικών. Για μεγάλα ύψη πτώσης και διαμέτρους, ο εργοστασιακά συγκολλημένος χάλυβας είναι πιθανώς η καλύτερη επιλογή. Πάντως, εάν διατίθενται στα απαιτούμενα μεγέθη, θα πρέπει να εξετάζονται και οι χαλύβδινοι σωλήνες σπειροειδούς μηχανικής συγκόλλησης, λόγω της χαμηλότερης τιμής τους. Στα μεσαία και μικρά ύψη πτώσης ο χάλυβας καθίσταται λιγότερο ανταγωνιστικός στις

μικρές παροχές, επειδή η προβλεπόμενη προστασία κατά της διάβρωσης είναι η ίδια, ανεξάρτητα από το πάχος του τοιχώματος.

Μια ελκυστική λύση στις περιπτώσεις αυτές αποτελούν οι πλαστικοί σωλήνες, επειδή είναι φθηνότεροι, ελαφρύτεροι και πιο εύκολοι στο χειρισμό από τους χαλύβδινους, ενώ δεν χρειάζονται αντιδιαβρωτική προστασία. Για μικρότερης διαμέτρου σωλήνες, υπάρχει η επιλογή ανάμεσα στο βιομηχανικό χάλυβα, εφοδιασμένο με αρμούς με πείρους και υποδοχές και με στεγανωτικούς ελαστικούς δακτυλίους, που εξαλείφουν τις επιτόπιες συγκολλήσεις, ή με συγκολλημένες φλάντζες που συνδέονται επιτόπου, στο απλό ή προεντεταμένο σκυρόδεμα, τους όλκιμους σιδερένιους σωλήνες με πείρους και υποδοχές και στεγανωτικές φλάντζες, το αμιαντοτσιμέντο, το ενισχυμένο με υαλονήματα πλαστικό (GRP), και σε πλαστικά από PVC ή πολυαιθυλένιο.

Ένας αγωγός πτώσης χαρακτηρίζεται από τα υλικά, τη διάμετρο του, το πάχος του τοιχώματος και τον τύπο των αρμών. Συγκεκριμένα:

- Το υλικό επιλέγεται σύμφωνα με τις συνθήκες του εδάφους, την προσιτότητα, το βάρος, το συστημάτων αρμών και το κόστος.
- Η διάμετρος επιλέγεται ώστε να μειώνονται οι απώλειες τριβής μέσα στον αγωγό πτώσης σε ένα αποδεκτό επίπεδο.
- Το πάχος του τοιχώματος επιλέγεται ώστε να αντέχει στη μέγιστη υδραυλική πίεση όχλησης, συμπεριλαμβανομένης της μεταβατικής πίεσης κυματισμού που εμφανίζεται κατά την ταχεία αύξηση ή μείωση της παροχής.

Η διάμετρος επιλέγεται ως αποτέλεσμα μιας αντιστάθμισης μεταξύ του κόστους του αγωγού και των απωλειών ισχύος. Οι απώλειες ύψους πτώσης αυξάνονται ραγδαία με την αύξηση της ταχύτητας του νερού. Για τη μεταφορά μιας ορισμένης παροχής, σ' ένα σωλήνα μικρής διαμέτρου απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα νερού απ' ό,τι σε έναν μεγαλύτερης διαμέτρου, επομένως θα είναι μεγαλύτερες και οι απώλειες πίεσης. Οι μικρής διαμέτρου σωλήνες είναι φθηνότεροι, αλλά οι απώλειες ισχύος αυτών είναι μεγαλύτερες από αυτές που δημιουργούνται σε σωλήνες μεγαλύτερης διαμέτρου.

Το πάχος του τοιχώματος εξαρτάται από το όριο θραύσης (και λυγισμού) του υλικού, τη διάμετρο του σωλήνα και τις πιέσεις λειτουργίας, συνυπολογιζομένων των μεταβατικών

πίεσεων κυματισμού λόγω των απότομων κλεισιμάτων των βαλβίδων όταν λειτουργεί ο σταθμός. Οι συντελεστές ασφάλειας και οι ανοχές των πιέσεων κυματισμού εξαρτώνται από τα πρότυπα που εφαρμόζονται για την κατασκευή του σωλήνα. Στην Ευρώπη, οι αγωγοί πτώσης κατασκευάζονται με συγκόλληση προ-καμπυλωμένων στις απαιτούμενες διαστάσεις χαλυβδόφυλλων, εκτός εάν διατίθεται σωλήνας σπειροειδούς συγκόλλησης με κατάλληλη διάμετρο και πάχος τοιχώματος.

3.3.4.5. *Αυλάκια απαγωγής*

Αφού περάσει μέσα από το στρόβιλο το νερό επιστρέφει στον ποταμό μέσω ενός μικρού καναλιού που αποκαλείται αυλάκι απαγωγής. Οι στρόβιλοι ώσης μπορούν να έχουν σχετικά υψηλές ταχύτητες εξόδου, οπότε το αυλάκι απαγωγής πρέπει να είναι σχεδιασμένο εις τρόπον ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υποσκαφθεί ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής. Μεταξύ του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και του ρεύματος πρέπει να παρέχεται προστασία με ποδιές από θραυστούς λίθους ή σκυρόδεμα.

Η σχεδίαση θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζει ότι, κατά τη διάρκεια σχετικά υψηλών παροχών, το νερό στο αυλάκι απαγωγής δεν θα ανέλθει τόσο ώστε να παρεμποδίσει τον δρομέα του στροβίλου. Η στάθμη του νερού στο αυλάκι απαγωγής επηρεάζει τη λειτουργία ενός στροβίλου αντίδρασης, ειδικότερα την απαρχή της σπηλαιώσης, ενώ καθορίζει και το διαθέσιμο καθαρό ύψος πτώσης, οπότε μπορεί να έχει καταλυτική επίδραση στα οικονομικά αποτελέσματα των συστημάτων μικρού ύψους πτώσης.

3.3.5. *Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός*

3.3.5.1. *Υδροστρόβιλοι*

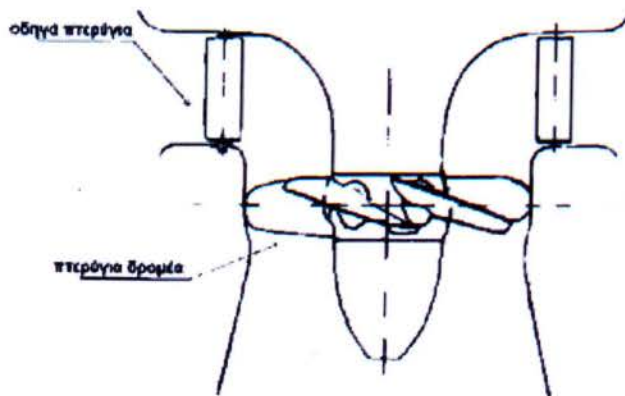
Όλες οι προαναφερθείσες δομές σχεδιάζονται για να μεταβιβάσουν το νερό στους στρόβιλους, όπου τιθασεύεται η μεταφερόμενη από το νερό ισχύς. Η οικονομική σκοπιμότητα ενός προτεινόμενου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε μία θέση με μια γνωστή καμπύλη διάρκειας ροής (ΚΔΡ) εξαρτάται πρωτίστως από τη σωστή επιλογή του υδροηλεκτρικού εξοπλισμού, η οποία αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία που εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τη μορφή της ΚΔΡ, την ποσότητα της αποθεματικής ροής, την αξία της ενέργειας, το κόστος του εξοπλισμού, την ευκολία χρήσης και την αξιοπιστία του.

Ένας υδροστρόβιλος είναι μια περιστρεφόμενη μηχανή που μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι στρόβιλων, γνωστοί ως στρόβιλοι "ώσης" και "αντίδρασης". Ο "στρόβιλος ώσης" μετατρέπει την δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια μιας δέσμης νερού η οποία εκρέει από ένα ακροφύσιο και προσπίπτει επάνω στους κάδους ή τα πτερύγια του δρομέα. Ο "στρόβιλος αντίδρασης" χρησιμοποιεί την πίεση αλλά και την ταχύτητα του νερού για να αναπτύξει μηχανική ισχύ. Ο δρομέας κατακλύζεται πλήρως και τόσο η πίεση όσο και η ταχύτητα μειώνονται από την είσοδο προς την έξοδο.

Οι περισσότεροι υφιστάμενοι στρόβιλοι μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- στρόβιλοι τύπου Kaplan και έλικας,
- στρόβιλοι τύπου Francis,
- στρόβιλοι τύπου Pelton και άλλοι στρόβιλοι ώσης.

Οι στρόβιλοι Kaplan και οι τύπου έλικας είναι αξονικής ροής στρόβιλοι αντίδρασης που γενικά χρησιμοποιούνται για μικρά ύψη πτώσης (συνήθως κάτω από 16 m). Ο στρόβιλος Kaplan έχει ρυθμιζόμενα πτερύγια δρομέα και μπορεί να διαθέτει ή όχι ρυθμιζόμενα οδηγία πτερύγια (σχήμα 3.10). Εάν είναι ρυθμιζόμενα και τα πτερύγια του δρομέα και τα οδηγία πτερύγια ο στρόβιλος περιγράφεται ως "διπλής ρύθμισης", ενώ εάν είναι σταθερά τα οδηγία πτερύγια τότε λέγεται "απλής ρύθμισης".



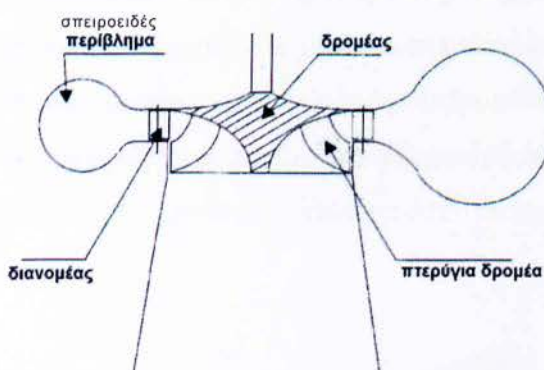
Σχήμα 3.10. Στρόβιλος τύπου Kaplan

Στη συμβατική του έκδοση ο στρόβιλος Kaplan έχει ένα σπειροειδές περίβλημα (είτε από χάλυβα είτε από σιδηροπαγές σκυρόδεμα). Η ροή εισάγεται ακτινικά προς το εσωτερικό και εκτελεί μια στροφή ορθής γωνίας προτού εισέλθει στον δρομέα με αξονική κατεύθυνση. Όταν ο δρομέας έχει σταθερά πτερύγια, ο στρόβιλος είναι γνωστός ως τύπου έλικας. Οι

στρόβιλοι έλικας μπορούν να έχουν κινητά ή σταθερά οδηγά πτερύγια. Οι μη ρυθμιζόμενοι στρόβιλοι τύπου έλικας χρησιμοποιούνται μόνο όταν τόσο η παροχή όσο και το ύψος πτώσης παραμένουν πρακτικώς σταθερά.

Από τους στρόβιλους τύπου έλικας και Kaplan έχουν προκύψει οι βολβοειδείς και οι σωληνωτές μονάδες, όπου η ροή εισέρχεται και εξέρχεται με ελάχιστες αλλαγές στη διεύθυνση. Στο βολβοειδή στρόβιλο ο πολλαπλασιαστής και η γεννήτρια εγκλείονται μέσα σε ένα βολβό βυθισμένο στη ροή. Οι σωληνωτοί στρόβιλοι επιτρέπουν ποικίλες διαρρυθμίσεις, όπως μετάδοση κίνησης ορθής γωνίας, στρόβιλους τύπου Straflo με αγωγούς σχήματος S, γεννήτριες μειμαντοκίνηση, κλπ. Τα συστήματα μετάδοσης κίνησης ορθής γωνίας αποτελούν μια πολύ ελκυστική λύση, αλλά κατασκευάζονται μόνο μέχρι ένα μέγιστο όριο της τάξης των 2 MW.

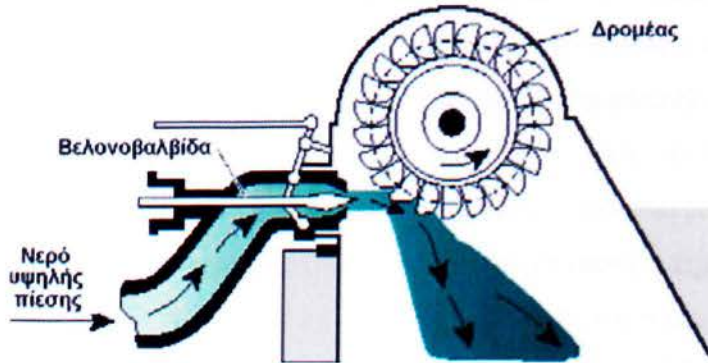
Οι στρόβιλοι Francis είναι στρόβιλοι αντίδρασης ακτινικής ροής, με σταθερά πτερύγια δρομέα και ρυθμιζόμενα οδηγά πτερύγια, που χρησιμοποιούνται για μεσαία ύψη πτώσης. Ο δρομέας αποτελείται από κάδους που διαμορφώνονται από σύνθετες καμπύλες. Ένας στρόβιλος Francis περιλαμβάνει συνήθως ένα χυτοσίδηρο ή χαλύβδινο σπειροειδές περίβλημα για τη διανομή του νερού γύρω από ολόκληρη την περίμετρο του δρομέα, και αρκετές σειρές πτερυγίων που καθοδηγούν και ρυθμίζουν την ροή του νερού προς το δρομέα. Στο σχήμα 3.11 δίνεται η σχηματική παράσταση του στρόβιλου αυτού του τύπου.



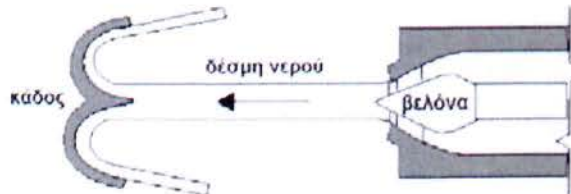
Σχήμα 3.11. Σχηματική παράσταση ενός στρόβιλου Francis

Οι στρόβιλοι Pelton είναι στρόβιλοι ώσης με μία ή πολλαπλές δέσμες, καθεμία από τις οποίες εκρέει μέσα από ένα ακροφύσιο με μια βελονοβαλβίδα για τον έλεγχο της ροής. Αυτοί χρησιμοποιούνται για μεσαία και μεγάλα ύψη πτώσης. Το σχήμα 3.12 απεικονίζει έναν

κατακόρυφο στρόβιλο Pelton και το σχήμα 3.13 τους άξονες των ακροφυσίων που κείνται στο ίδιο επίπεδο με τον δρομέα. Ορισμένοι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει ειδικούς τύπους μηχανών, με περιορισμένο εύρος παροχής και ισχύος, οι οποίοι όμως μπορεί να είναι συμφέροντες υπό ορισμένες συνθήκες.

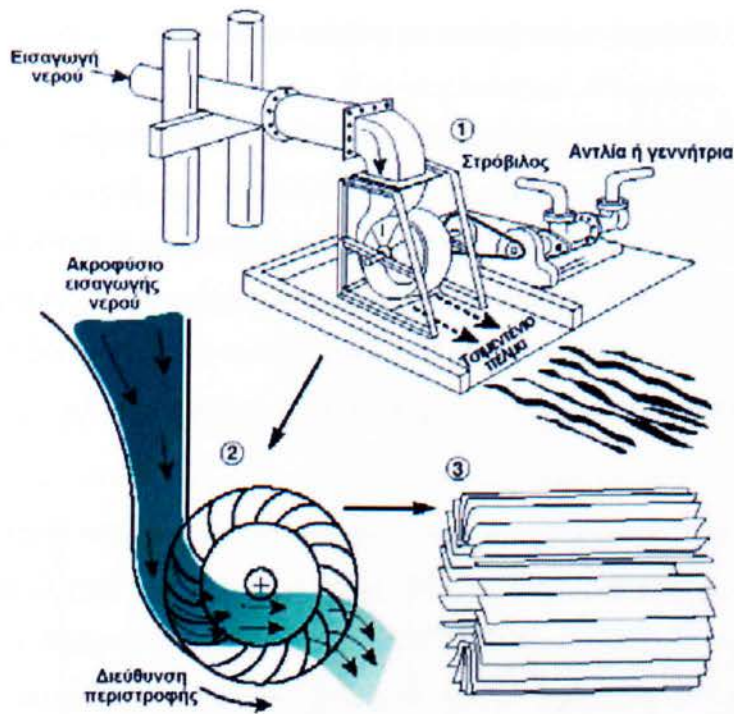


Σχήμα 3.12 Κατακόρυφος στρόβιλος Pelton



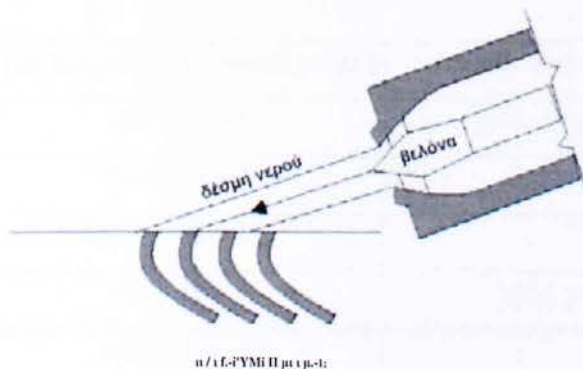
Σχήμα 3.13. Η μορφή του κάδου ενός στροβίλου Pelton και ο άξονας του ακροφυσίου

Ο στρόβιλος εγκάρσιας ροής, συχνά καλούμενος και στρόβιλος Ossberger, από μια επιχείρηση που τον κατασκευάζει για παραπάνω από 50 χρόνια, ή στρόβιλος Michell (σχήμα 3.14) χρησιμοποιείται για ένα ευρύ φάσμα υψών πτώσης επικαλύπτοντας αυτά των στροβίλων Kaplan, Francis και Pelton. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για ένα ρεύμα με μεγάλη παροχή και μικρό ύψος πτώσης.



Σχήμα 3.14. (1) Ο στρόβιλος εγκάρσια ροής (Michell),
 (2) Εγκάρσια τομή του στροβίλου,
 (3) Διάταξη των πτερυγίων του στροβίλου εγκάρσια ροής

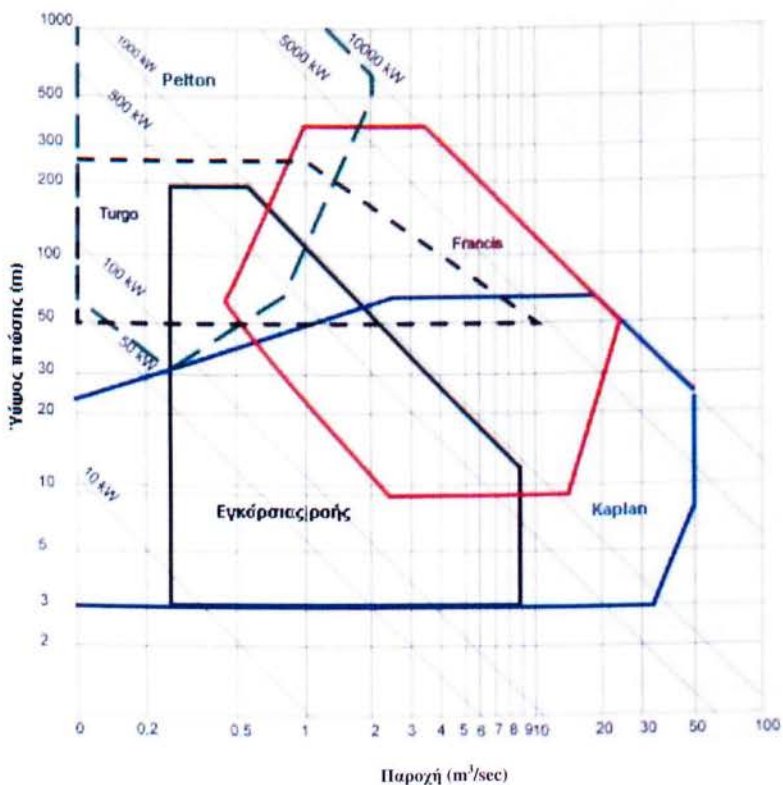
Ο στρόβιλος Turgo μπορεί να λειτουργεί σε ύψη πτώσης από 30 έως 300 m. Είναι στρόβιλος ώσης, όπως και ο Pelton, αλλά οι κάδοι του διαμορφώνονται διαφορετικά και η δέσμη του νερού προσπίπτει στο επίπεδο του δρομέα υπό γωνία 20° . Το νερό εισέρχεται στο δρομέα από τη μια πλευρά του δίσκου του και εξέρχεται από την άλλη (σχήμα 3.15). Η μεγαλύτερη ταχύτητα του δρομέα του Turgo, λόγω της μικρότερης διαμέτρου του έναντι των άλλων τύπων, καθιστά πιο πιθανή την άμεση σύζευξη του στροβίλου και της γεννήτριας. Πάντως, σε αντίθεση με έναν Pelton, το νερό που ρέει μέσω του δρομέα παράγει μια αξονική δύναμη, απαιτώντας την εγκατάσταση ενός ωστικού εδράνου στον άξονα του. Ένας στρόβιλος Turgo μπορεί να είναι κατάλληλος σε μεσαία ύψη πτώσης, όπου διαφορετικά θα χρησιμοποιούνταν στρόβιλος Francis.



α/τ/ε-ΕΥΜΕΠ με κ.ε.ε

Σχήμα 3.15. Τα περύγια του δρομέα και η δέσμη του νερού σε ένα στρόβιλο Turgo

Η επιλογή του τύπου, της γεωμετρίας και των διαστάσεων του στρόβιλου εξαρτάται κυρίως από το ύψος πτώσης, την παροχή και την ταχύτητα του δρομέα. Στο σχήμα 3.16 απεικονίζονται τα εύρη λειτουργίας διάφορων τύπων στρόβιλων συναρτήσει του ύψους πτώσης και της παροχής. Καθεαυτό το ύψος πτώσης αποτελεί το πρώτο κριτήριο στη επιλογή του τύπου του προς εγκατάσταση στρόβιλου. Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζεται το εύρος των υψών πτώσης που είναι κατάλληλα για τους διάφορους τύπους στρόβιλων.



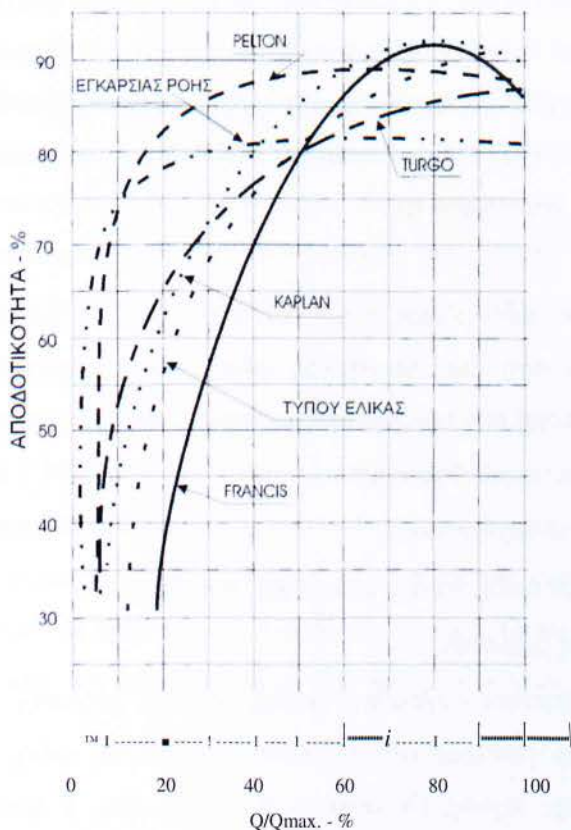
Σχήμα 3.16. Εύρος λειτουργίας των διάφορων τύπων στρόβιλων

Πίνακας 3.1. Εύρος υψών πτώσης

Τύποι στρόβιλων	Εύρος ύψους πτώσης (σε m)
Καπλαν και έλικας	$2 < H < 15$
Francis	$4 < H < 100$
Pelton	$30 < H < 1000$
Εγκάρσιας ροής	$1 < H < 150$
Turgo	$50 < H < 250$

Για το ίδιο ύψος πτώσης, είναι δυσκολότερη η κατασκευή ορισμένων στροβίλων απ' ό,τι άλλων, συνεπώς είναι και ακριβότεροι. Για παράδειγμα, στα μικρά ύψη πτώσης, ένας στρόβιλος τύπου έλικας είναι φθηνότερος από ένα στρόβιλο Kaplan που έχει σχεδιασθεί για την ίδια ονομαστική παροχή. Σε ένα σχήμα μεσαίου ύψους πτώσης, ένας στρόβιλος εγκάρσιας ροής θα είναι φθηνότερος από έναν Francis, του οποίου ο δρομέας είναι πιο σύνθετος, αν και ο βαθμός απόδοσης του είναι μεγαλύτερος.

Όσον αφορά την παροχή, πρέπει να υπενθυμισθεί ότι οι στρόβιλοι δεν μπορούν να λειτουργούν από μηδενική ροή μέχρι την ονομαστική παροχή τους. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.17, το οποίο παρουσιάζει τη μέση αποδοτικότητα για διάφορους τύπους στροβίλων, η αποδοτικότητα ελαττώνεται απότομα κάτω από ένα ορισμένο ποσοστό της ονομαστικής παροχής. Από την άποψη αυτή, ο καλύτερος στρόβιλος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από το 1/6 της ονομαστικής παροχής του, ενώ πολλοί μπορούν να λειτουργήσουν μόνο επάνω από το 40% αυτής.



Σχήμα 3.17. Μέση αποδοτικότητα διάφορων τύπων στροβίλων

Το εύρος των παροχών που πρέπει να χρησιμοποιούνται, συνεπώς και η παραγωγή ισχύος, κυμαίνεται αναλόγως εάν:

- α) η εγκατάσταση πρέπει να παρέχει ηλεκτρισμόσ' ένα μικρό δίκτυο, ή
- β) ο σταθμός έχει σχεδιαστεί για να συνδεθεί με ένα μεγάλο δίκτυο διανομής.

Στην πρώτη περίπτωση, πρέπει να επιλεγεί μια παροχή που να επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού σχεδόν καθ' όλο το έτος. Στη δεύτερη, η ονομαστική παροχή πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να μεγιστοποιείται το καθαρό κέρδος από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.3.5.2. *Κιβώτια ταχυτήτων και άλλοι πολλαπλασιαστές της ταχύτητας*

Όταν ο στρόβιλος και η γεννήτρια λειτουργούν με την ίδια ταχύτητα και μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε οι άξονες τους να είναι σε ευθεία, η ενδεδειγμένη λύση είναι η άμεση σύζευξη τους. Τότε, ουσιαστικά δεν υφίστανται απώλειες ισχύος και είναι ελάχιστη η συντήρηση. Οι κατασκευαστές των στροβίλων προτείνουν τον τύπο της σύζευξης που πρέπει να χρησιμοποιείται (άκαμπτη ή εύκαμπτη), αν και συνήθως συστήνεται μια εύκαμπτη σύζευξη που μπορεί να ανεχθεί ορισμένη απόκλιση στην ευθυγράμμιση. Σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά στις μικρότερες ισχείς, οι στρόβιλοι περιστρέφονται με λιγότερες από 400 rpm, οπότε απαιτείται ένας πολλαπλασιαστής ταχύτητας για να καλυφθούν οι 1000-1500 rpm των τυποποιημένων γεννητριών ΕΡ.

Για τα εύρη ισχύος που απαντώνται στα ΜΥΗ έργα η λύση αυτή είναι συνήθως πιο οικονομική απ' ό τι η χρήση μιας γεννήτριας ειδικής κατασκευής. Ο πολλαπλασιαστής ταχύτητας μπορεί να επιλεγεί από τους κάτωθι εμπορικά διαθέσιμους τύπους:

- κιβώτιο ταχυτήτων παράλληλου άξονα,
- επικυκλικό κιβώτιο ταχυτήτων,
- κιβώτιο ταχυτήτων ορθής γωνίας με κωνικά γρανάζια,
- μετάδοση κίνησης μειμάντα.

Τα κιβώτια ταχυτήτων απαιτούν πρόσθετη συντήρηση και αυξάνουν αισθητά το επίπεδο θορύβου στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, οι απώλειες τριβής μπορεί να ανέλθουν στο 2% της παραγόμενης ισχύος. Οι επίπεδοι ή οι σχήματος V ιμάντες αποτελούν την απλούστερη και φθηνότερη λύση.

3.3.5.3. Γεννήτριες

Οι γεννήτριες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αν και οι πρώτοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ήταν συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) ώστε να συνδυάζονται μετα πρώταεμπορικά ηλεκτρικά συστήματα, σήμερα χρησιμοποιούνται στην πράξη μόνο τριφασικές γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου δικτύου, ο παραγωγός έχει δύο επιλογές:

- *Σύγχρονες γεννήτριες*, εξοπλισμένες με σύστημα διέγερσης ΣΡ (περιστρεφόμενο ή στατικό) συνδεδεμένο με ένα ρυθμιστή τάσης, για τον έλεγχο της τάσης, της συχνότητας και της γωνίας φάσης πριν από τη σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο, και για την παροχή αμελητέου ποσοστού της άεργης ισχύος που απαιτείται από το σύστημα ισχύος όταν η γεννήτρια συνδέεται στο δίκτυο. Με τη διακοπή της παράλληλης σύνδεσης, η σύγχρονη γεννήτρια θα συνεχίσει να παράγει σε τάση και συχνότητα που καθορίζονται από τον εξοπλισμό ελέγχου της. Οι σύγχρονες γεννήτριες μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα από το δίκτυο και να παράγουν ισχύ δεδομένου ότι η ισχύς διέγερσης δεν εξαρτάται από το δίκτυο.
- *Ασύγχρονες γεννήτριες*, που είναι απλοί ηλεκτρικοί επαγωγικοί κινητήρες κλωβού, χωρίς δυνατότητα ρύθμισης της τάσης, οι οποίες λειτουργούν σε ταχύτητα άμεσα σχετιζόμενη με τη συχνότητα του συστήματος. Αντλούν το ρεύμα διέγερσης τους από το δίκτυο, απορροφώντας άεργο ισχύ. Αυτή μπορεί να αντισταθμιστεί με την προσθήκη συστοιχίας πυκνωτών. Δεν μπορούν να παράγουν όταν αποσυνδέονται από το δίκτυο, αφού δεν είναι ικανές να παρέχουν το δικό τους ρεύμα διέγερσης.

Οι σύγχρονες γεννήτριες ΕΡ είναι ακριβότερες από τις ασύγχρονες, τουλάχιστον για τις ισχείς μέχρι περίπου 2 MW, και χρησιμοποιούνται σε συστήματα ισχύος όπου η παραγωγή της γεννήτριας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του φορτίου του συστήματος ισχύος. Οι ασύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται σε μεγάλα δίκτυα όπου η παραγωγή τους είναι ένα αμελητέο ποσοστό του φορτίου του συστήματος ισχύος. Η αποδοτικότητα τους είναι 2 έως 4% μικρότερη από την αποδοτικότητα των σύγχρονων γεννητριών σε όλο το εύρος λειτουργίας τους.

3.3.5.4. *Εξοπλισμός ελέγχου*

Ο στρόβιλος συνήθως ελέγχεται από ένα ρυθμιστή στροφών, ο οποίος είναι ένας συνδυασμός συσκευών και μηχανισμών που ανιχνεύουν την απόκλιση της ταχύτητας και τη μετατρέπουν σε μια μεταβολή της θέσης του σερβοκινητήρα. Ειδικότερα, ένας αισθητήρας ταχύτητας ανιχνεύει την απόκλιση από το καθορισμένο σημείο και το σήμα απόκλισης μετατρέπεται και ενισχύεται ώστε να διεγείρει έναν ενεργοποιητή, υδραυλικό ή ηλεκτρικό, για τον έλεγχο είτε της παροχής του στροβίλου είτε του ηλεκτρικού φορτίου.

Οι ρυθμιστές στροφών μπορεί να είναι μηχανικοί ή ηλεκτρονικοί. Στο μηχανικό τύπο, ο αισθητήρας ταχύτητας είναι ένας μηχανισμός βαριδιών σφονδύλου που ελέγχει ένα υδραυλικό σύστημα ελαίου για την ενεργοποίηση μέσω σερβοκινητήρων των οδηγών πτερυγίων ή/και των πτερυγίων του δρομέα. Οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές στροφών ελέγχουν τον στρόβιλο μέσω σταδίων ενίσχυσης της ισχύος, τα οποία κανονικά περιλαμβάνουν μια υδραυλική μονάδα ισχύος. Τα κύρια πλεονεκτήματα τους είναι η αυξημένη αξιοπιστία, η ακρίβεια του ελέγχου και η πολυχρηστικότητα.

Για μικρούς υδροστροβίλους που τροφοδοτούν αυτόνομα συστήματα, η απλούστερη και πιο ανέξοδη λύση είναι η ρύθμιση των στροφών μέσω του φορτίου. Σε πλήρες φορτίο, σταθερό ύψος πτώσης και σταθερή παροχή, ο στρόβιλος θα λειτουργεί στην ταχύτητα σχεδιασμού συντηρώντας έτσι πλήρες φορτίο στη γεννήτρια, η οποία θα λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα. Είναι διαθέσιμοι αξιόπιστοι και φθηνοί ηλεκτρονικοί ρυθμιστές στροφών που ενεργοποιούν και θέτουν εκτός λειτουργίας υφιστάμενες αντιστάσεις, διατηρώντας έτσι με ακρίβεια τη συχνότητα του συστήματος. Εάν η γεννήτρια συνδέεται σε ένα μεγάλο δίκτυο, η ρύθμιση της συχνότητας παρέχεται από το δίκτυο και ο ρυθμιστής στροφών είναι περιττός.

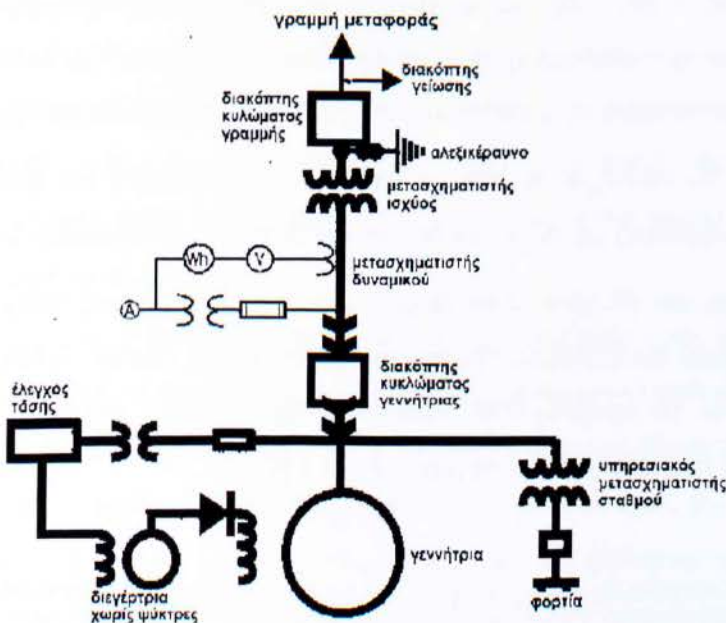
3.3.5.5. *Πίνακας οργάνων του εξοπλισμού διανομής και εξοπλισμός προστασίας*

Σε κάθε χώρα, οι κανονισμοί της ηλεκτρικής τροφοδοσίας θέτουν μια θεσμοθετημένη υποχρέωση στις δημόσιες επιχειρήσεις ηλεκτρισμού να διατηρούν την ασφάλεια και την ποιότητα της ηλεκτρικής τροφοδοσίας εντός κάποιων προκαθορισμένων ορίων. Ο ανεξάρτητος παραγωγός πρέπει να λειτουργεί την εγκατάσταση του κατά τέτοιο τρόπο ώστε η επιχείρηση ηλεκτρισμού να μπορεί να εκπληρώνει τις υποχρεώσεις της. Επομένως, για την

ασφάλεια και την προστασία του εξοπλισμού απαιτείται η ύπαρξη διάφορων σχετικών ηλεκτρικών διατάξεων μέσα στο σταθμό ισχύος.

Ο εξοπλισμός διανομής είναι αναγκαίος για τον έλεγχο των γεννητριών και για τη σύζευξη τους με το δίκτυο ή το απομονωμένο φορτίο. Πρέπει να παρέχει προστασία για τις γεννήτριες, τον κύριο μετασχηματιστή και τον υπηρεσιακό μετασχηματιστή του σταθμού. Ο πίνακας οργάνων του εξοπλισμού διανομής συνήθως περιλαμβάνει ένα διακόπτη για τη γεννήτρια, μετασχηματιστές δυναμικού, μετασχηματιστές ρεύματος, διατάξεις ελέγχου της γεννήτριας, έναν αποζεύκτη τήξης για την υπηρεσιακή ισχύ του σταθμού και τους χάλκινους διακόπτες κατανομής κυκλώματος.

Ο ανεξάρτητος παραγωγός είναι υπεύθυνος για τη διάταξη της γείωσης εντός της εγκατάστασης του. Αυτή πρέπει να σχεδιαστεί κατόπιν συνεννόησης με τη δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού. Η διάταξη της γείωσης εξαρτάται από τον αριθμό των εν λειτουργία μονάδων καθώς και από τη διαμόρφωση και τη μέθοδο λειτουργίας του συστήματος του ίδιου του ανεξάρτητου παραγωγού. Στο σχήμα 3.18 απεικονίζεται το διάγραμμα ενός σταθμού παραγωγής με μία μονάδα, όπου διακρίνεται ο αποζεύκτης της γραμμής μεταφοράς στην πλευρά υψηλής τάσης, μαζί με τον αποζεύκτη της γεννήτριας και τις μετρητικές διατάξεις στην πλευρά χαμηλής τάσης. Πιο περίπλοκα αναμένονται τα πράγματα σε σταθμούς πολλαπλών μονάδων, όπου η ευελιξία και η συνέχεια των υπηρεσιών αποτελούν σημαντικές απαιτήσεις.



Σχήμα 3.18. Σχηματικό διάγραμμα ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με μία μονάδα

3.3.5.6. Αυτόματος έλεγχος

Τα μικρά υδροηλεκτρικά σχήματα συνήθως δεν επιτηρούνται και λειτουργούν μέσω συστήματος αυτομάτου ελέγχου. Επειδή κάθε εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής είναι διαφορετική, είναι σχεδόν αδύνατο να καθοριστεί γενικά ο βαθμός αυτοματοποίησης που θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα δεδομένο σύστημα. Πάντως, μερικές απαιτήσεις είναι αποδεκτές γενικώς:

- Όλος ο εξοπλισμός πρέπει να διαθέτει χειροκίνητους ελεγκτές και μετρητές εντελώς ανεξάρτητους από τον προγραμματιζόμενο ελεγκτή (PLC), για χρήση τους μόνο κατά την αρχική εκκίνηση και τις διαδικασίες συντήρησης.
- Το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει τους απαραίτητους ηλεκτρονόμους και διατάξεις για την ανίχνευση δυσλειτουργιών σοβαρής φύσης και, στη συνέχεια, για τη λήψη δράσεων ώστε να επανέλθει η μονάδα ή ολόκληρη η εγκατάσταση σε μία ασφαλή απενεργοποιημένη κατάσταση.
- Πρέπει να συλλέγονται και να είναι άμεσα διαθέσιμα για τη λήψη αποφάσεων δεδομένα σχετικά με τη λειτουργία της εγκατάστασης, και να αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων για τη μετέπειτα αξιολόγηση της απόδοσης του σταθμού.
- Πρέπει να συμπεριληφθεί ένα ευφύες σύστημα ελέγχου που να επιτρέπει τη λειτουργία της πλήρους εγκατάστασης σε ένα μη επιτηρούμενο περιβάλλον.
- Διευκολύνει, παρότι δεν απαιτείται, η εξ αποστάσεως πρόσβαση στο σύστημα ελέγχου και η παράκαμψη των αυτόματων αποφάσεων, με την προϋπόθεση ότι διακόπτεται ασφαλώς η λειτουργία του σταθμού σε περίπτωση δυσλειτουργίας.
- Κανονικά, το σύστημα πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με αντίστοιχες μονάδες ανάντη και κατόντη με σκοπό τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών λειτουργίας.
- Η πρόβλεψη των βλαβών συνιστά βελτίωση του συστήματος ελέγχου. Με τη χρήση ενός έμπειρου συστήματος, τροφοδοτούμενου με τα βασικά λειτουργικά δεδομένα, είναι δυνατό να προβλεφθούν κάποιες βλάβες προτού συμβούν και να ληφθούν διορθωτικά μέτρα έτσι ώστε να μην συμβεί η βλάβη.

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος της παραγωγής ενέργειας μειώνοντας τη συντήρηση και βελτιώνοντας την αξιοπιστία,

λειτουργώντας παράλληλα πιο αποτελεσματικά τους στροβίλους και παράγοντας περισσότερα kW από το διαθέσιμο νερό.

3.3.5.7. Βοηθητικός εξοπλισμός του σταθμού παραγωγής

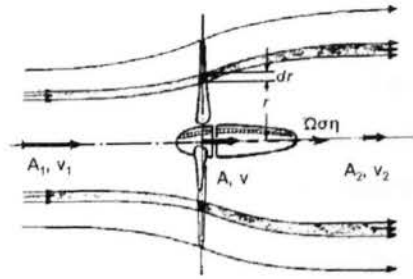
Η παραγωγή βοηθητικών φορτίων, ο φωτισμός και ο επικουρικός μηχανολογικός εξοπλισμός του σταθμού είναι δυνατό να απαιτούν από 1 έως 3% του δυναμικού του, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό ισχύει για τα μικρο-υδροηλεκτρικά (κάτω από 500 kW). Εάν ήταν διαθέσιμες, δύο εναλλακτικές τροφοδοσίες μεαυτόματη εναλλαγή θα εξασφάλιζαν την κάλυψη σε μια μη επιτηρούμενη μονάδα. Οι σταθμοί ισχύος πάνω από 500 kW, ειδικά εάν είναι τηλε-ελεγχόμενοι, απαιτούν ένα σύστημα ΣΡ που περιλαμβάνει ένα φορτιστή μπαταριών, τις μπαταρίες του σταθμού και ένα πίνακα ελέγχου της διανομής του ΣΡ. Η χωρητικότητα σε αμπερώρια πρέπει να είναι τέτοια ώστε, σε μία απώλεια του ρεύματος φόρτισης, να εξασφαλίζεται ο πλήρης έλεγχος της εγκατάστασης για όσο διάστημα απαιτείται μέχρι να ληφθούν διορθωτικά μέτρα.

3.3.6. Ζητήματα ενδιαφέροντος για τα μικρά υδροηλεκτρικά

3.3.6.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα ΜΥΗ είναι στις περισσότερες περιπτώσεις "συνεχούς ροής", δηλαδή το τυχόν φράγμα είναι αρκετά μικρό, συνήθως μόνο ένας υδροφράκτης, και αποθηκεύεται εν γένει ελάχιστο ή καθόλου νερό. Τα έργα πολιτικού μηχανικού εξυπηρετούν μόνο τη λειτουργία ρύθμισης της στάθμης του νερού στο στόμιο εισόδου του υδροηλεκτρικού σταθμού, οπότε οι εγκαταστάσεις συνεχούς ροής δεν έχουν τα ίδια είδη δυσμενών επιπτώσεων στο τοπικό περιβάλλον μετα μεγάλα υδροηλεκτρικά.

Φυσικά υπάρχουν κάποια περιβαλλοντικά προβλήματα, ειδικότερα όπου το νερό αποσπάται σε κάποια απόσταση από το σημείο στο οποίο εκβάλλει πίσω στον ποταμό. Τότε, το τμήμα του παρακαμθέντος ποταμού μπορεί να αποξηρανθεί ή να είναι δυσάρεστο στην όψη, εκτός εάν επιτρέπεται μια επαρκής ροή αντιστάθμισης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι νέες εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικών σχεδιάζονται έτσι ώστε να αφήνεται μία ικανοποιητική ποσότητα νερού να παρακάμπτει τους στροβίλους, το οποίο δεν είναι δύσκολο εκτός από τις περιόδους χαμηλής ροής.



Σχήμα 3.19. Ροή του ανέμου μέσω μιας Α/Γ

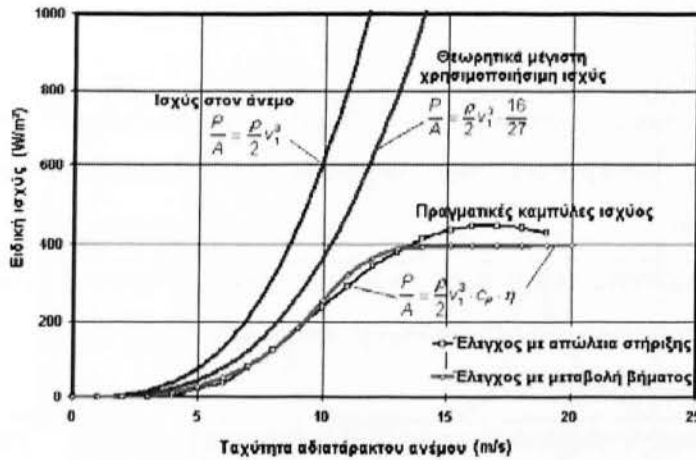
Η διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου είναι ένα μέτρο της αποσπώμενης από αυτόν κινητικής ενέργειας που περιστρέφει το δρομέα και την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στο άλλο άκρο του συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Η ισχύς που θεωρητικά εξάγεται από μια Α/Γ περιγράφεται από την εξίσωση:

$$P = c_p \eta (\rho/2)v_1^3 A \quad (3.3)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3), c_p ο συντελεστής ισχύος, η η μηχανική/ηλεκτρική αποδοτικότητα, και A το εμβαδό του δίσκου του δρομέα.

Σε ιδανικές συνθήκες, η μέγιστη τιμή του c_p (γνωστή ως «όριο Betz») είναι: $16/27 = 0,593$, δηλαδή μια Α/Γ μπορεί θεωρητικά να αποσπάσει το 59,3% του ενεργειακού περιεχόμενου όταν ροής του αέρα. Υπό πραγματικές συνθήκες, όταν, ο συντελεστής ισχύος δεν υπερβαίνει την τιμή $C_p=0,5$, αφού περιλαμβάνει όταν όταν αεροδυναμικές απώλειες όταν Α/Γ. Πράγματι, όταν περισσότερες τεχνικές δημοσιεύσεις η τιμή του c_p περιλαμβάνει όταν όταν απώλειες και, στην ουσία, αποτελεί συντόμευση του c_p - η . Στο σχήμα 3.20 παρουσιάζονται διαφορετικά περιεχόμενα και απολήψεις ισχύος ανάλογα με το συντελεστή ισχύος και όταν αποδοτικότητες μιας Α/Γ.

Όπως προκύπτει από την εξίσωση (3.3), ένα βασικό ζήτημα της πυκνότητας ισχύος του ανέμου αποτελεί η εξάρτηση της από τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, εάν διπλασιαστεί η ταχύτητα, η ισχύς που περιέχεται στον άνεμο θα αυξηθεί κατά οκτώ φορές. Στην πράξη, όμως, η σχέση μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας Α/Γ και της ταχύτητας του ανέμου δεν είναι τόσο ρητή. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες του σχήματος 3.20, η πραγματική καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ περιγράφεται συνήθως ως προς τέσσερις διακριτές περιοχές της ταχύτητας του ανέμου, οι οποίες αναλύονται στον πίνακα 3.2 (ενδεικτικές τιμές αυτές του σχήματος 3.20).



Σχήμα 3.20. Παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του δίσκου του δρομέα συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου

Από τις τέσσερις αυτές περιοχές, η Α/Γ παράγει και παρέχει ισχύ μόνο στο εύρος των ταχυτήτων του ανέμου που καθορίζονται από τις περιοχές 2 και 3. Στην περιοχή 1 (κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης) δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια στον άνεμο ώστε να παραχθεί εκμεταλλεύσιμη ισχύς. Στην περιοχή 4 (πέρα από την ταχύτητα διακοπής) η παραγόμενη ισχύς διατηρείται σταθερή ή αρχίζει να μειώνεται, ενώ σε πολύ δυνατούς ανέμους μπορεί και να διακόπτεται η λειτουργία της Α/Γ για να αποτραπεί κάποια ζημία σε αυτή. Τότε, οι άνεμοι είναι πάρα πολύ δυναμικοί για να δικαιολογηθεί η πρόσθετη δομική αντοχή και το επιπλέον κόστος σχετικά με το μικρό αριθμό ωρών ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρούνται ταχύτητες ανέμου εντός της περιοχής 4.

Η πυκνότητα ισχύος του ανέμου εξαρτάται επίσης από την πυκνότητα του αέρα. Αυτή σε μεγαλύτερα ύψη μειώνεται και, κατά συνέπεια, μειώνεται και η διαθέσιμη ισχύς. Η επίδραση αυτή μπορεί να επιφέρει μείωση στην παραγωγή ισχύος των Α/Γ σε ψηλά βουνά κατά τουλάχιστον 40% έναντι της ισχύος που θα μπορούσε να παραχθεί με τις ίδιες ταχύτητες ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται αντίστροφα από τη θερμοκρασία, οπότε οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τις μεγαλύτερες πυκνότητες του αέρα και τη μεγαλύτερη παραγωγή αιολικής ισχύος.

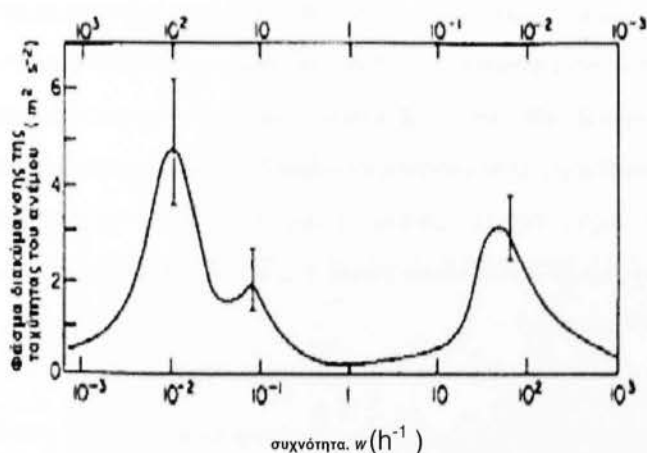
Πίνακας 3.2. Οι τέσσερις περιοχές της καύλης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας

Περιοχή λειτουργίας	Περιγραφή λειτουργίας: Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου	Ενδεικτικό εύρος ταχύτητας του ανέμου (αναφορικά με το σχήμα 3.20)
Περιοχή 1	Οι ταχύτητες του ανέμου είναι πολύ μικρές για παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ηλεκτρικής ισχύος.	0 έως ταχύτητα "εκκίνησης" - 0 έως 4 m/s.
Περιοχή 2	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος αυξανόμενη με την ταχύτητα του ανέμου.	Ταχύτητα "εκκίνησης" έως "ονομαστική" ταχύτητα του ανέμου -4 έως 13 m/s.
Περιοχή 3	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με σταθερό ρυθμό (ονομαστική ισχύς). Η απόδοση των πτερυγίων της Α/Γ μειώνεται σκόπιμα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου.	"Ονομαστική" ταχύτητα ανέμου έως ταχύτητα "διακοπής" - 13 έως 20 m/s (ή περισσότερο).
Περιοχή 4	Δεν παράγεται ισχύς. Οι άνεμοι είναι πολύ δυναμικοί ώστε να δικαιολογείται η πρόσθετη αντοχή και δαπάνη για το μικρό αριθμό ωρών ανά έτος πέραν της ταχύτητας "διακοπής".	Ταχύτητα "διακοπής" έως ταχύτητα "επιβίωσης" - 20 m/(ή περισσότερο) έως την ονομαστική ταχύτητα επιβίωσης.

3.4.1.3. Μεταβλητότητα των ανέμων

Μεταβολή με το χρόνο

Για να προβλεφθεί επακριβώς η απόδοση των Α/Γ, πρέπει να είναι γνωστή όχι μόνο η μέση ταχύτητα του ανέμου σε μια συγκεκριμένη θέση, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητα του ανέμου με το χρόνο. Με το μετασχηματισμό μιας μακράς χρονικής σειράς ταχυτήτων του ανέμου στο πεδίο συχνότητας ως φάσμα ισχύος μπορεί να προσδιοριστεί η χρονική κλίμακα της ενέργειας του ανέμου (σχήμα 3.21). Είναι χρήσιμο να γίνεται διάκριση μεταξύ των μεταβολών σε τρεις χρονικές κλίμακες, ειδικότερα στη βραχεία (δευτερόλεπτα έως λεπτά), μέση (ώρες έως ημέρες) και μακρά (εβδομάδες έως έτη).



Σχήμα 3.21. Χαρακτηριστικό φάσμα διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου

Οι μεταβολές στη βραχεία χρονική κλίμακα συνήθως δεν είναι πολύ σημαντικές για την αξιολόγηση του αιολικού πόρου, εκτός εάν ο άνεμος είναι πολύ τυρβώδης ή αλλάζει συχνά διεύθυνση. Σε μεμονωμένες Α/Γ οι απότομες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες διακυμάνσεις στην παραγόμενη ισχύ (και πρόσθετη φθορά στις συνιστώσες της Α/Γ, οπότε αυξημένες δαπάνες επισκευής και συντήρησης). Εντούτοις, σε αιολικές εγκαταστάσεις που περιέχουν πολλές Α/Γ, η επίδραση αυτή τείνει να εξαλειφθεί καθώς οι διαφορετικές μηχανές δέχονται ριπές ανέμου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Για το λόγο αυτό, κανονικά η μέση τιμητών μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου που προορίζονται για την αξιολόγηση μιας πιθανής θέσης αιολικού έργου λαμβάνεται σε μία περίοδο 10 λεπτών έως μίας ώρας.

Οι μεταβολές που υφίστανται μεταξύ ωρών και ημερών είναι πολύ σημαντικές για την αξιολόγηση της αιολικής πηγής. Τα αρχεία των ταχυτήτων του ανέμου εμφανίζουν συνήθως μεγάλες διακυμάνσεις που διατηρούνται έως και αρκετές ημέρες, οι οποίες απεικονίζουν διερχόμενες θύελλες και καιρικά μέτωπα. Εξάλλου, σε πολλές θέσεις παρουσιάζεται μια ημερήσια διαμόρφωση της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου, με τους μέγιστους ανέμους να εμφανίζονται συχνά το απόγευμα. Σημαντική επίδραση στις επιδόσεις των αιολικών εγκαταστάσεων έχουν επίσης οι μηνιαίες και εποχιακές μεταβολές. Ο βαθμός και ο χρόνος εμφάνισης των εποχιακών μεταβολών εξαρτώνται από την περιοχή.

Μπορεί να υφίστανται και αλλαγές στη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου από έτος σε έτος, οφειλόμενες σε περιφερειακά κλιματικά φαινόμενα. Για να εξαχθεί η εποχιακή συμπεριφορά του ανέμου απαιτείται τουλάχιστον ένα έτος μετρήσεων. Πέραν αυτού τα οφέλη από τις παρατεταμένες μετρήσεις φθίνουν σημαντικά, και ένα ή δύο έτη μετρήσεων συνήθως επαρκούν για την πρόβλεψη των μακροπρόθεσμων μέσων ταχυτήτων του ανέμου και της μεταβλητότητας της ταχύτητας με αποδεκτή ακρίβεια. Στον πίνακα 3.3 παρατίθενται οι χρονικές κλίμακες, η ομάδα που ενδιαφέρεται για κάθε μία από αυτές περισσότερο και οι αιτίες για το ενδιαφέρον αυτό.

Πίνακα 3.3. Χρονικές κλίμακες των αιολικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής

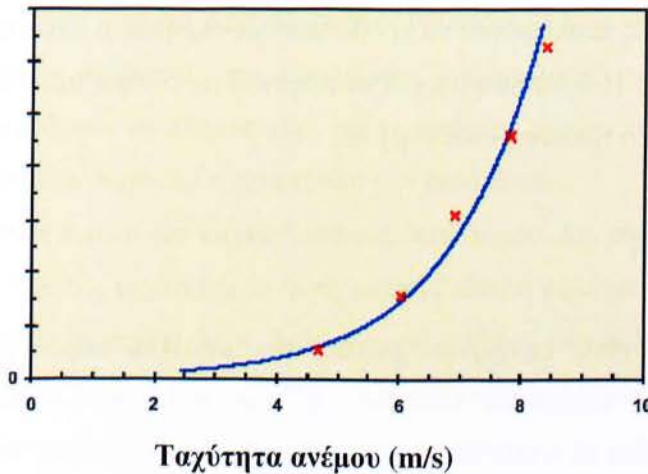
Χρονική κλίμακα	Ενδιαφερόμενοι	Αιτία ενδιαφέροντος
Δεκάδες δευτερόλεπτα ή λιγότερο	Σχεδιαστές ανεμογεννητριών	Δομική αντοχή σε φορτία προκαλούμενα από τον άνεμο, δομικές δονήσεις και καμπτική αστοχία συνιστωσών. Πιθανές διακυμάνσεις της τάσης και συχνότητας.
Δεκάδες πρώτα λεπτά έως ώρες	Χειριστές ηλεκτρικών δικτύων	Δυνατότητα παρακολούθησης ή αντιστάθμισης της μεταβαλλόμενης ισχύος που παρέχεται από το σύστημα. Πρόβλεψη του ανέμου.
Μία ημέρα	Χειριστές ηλεκτρικών δικτύων	Προβλεψιμότητα ενός ημερήσιου κύκλου και της παραγωγής σε μερικές καταστάσεις του ανέμου. Συσχέτιση με την ημερήσια κατανομή του φορτίου.
Από μήνα σε μήνα	Προγραμματιστές και χειριστές ηλεκτρικών δικτύων	Προβλεψιμότητα των εποχιακών μεταβολών και της παραγωγής στις περισσότερες καταστάσεις ανέμου. Συσχέτιση με την εποχιακή κατανομή του φορτίου.
Ένα έτος	Χειριστές ηλεκτρικών δικτύων και οικονομική κοινότητα	Προβλεψιμότητα της ετήσιας παραγωγής στα περισσότερα ανεμολογικά καθεστώτα. Δυνατότητα κάλυψης της οφειλής ενός μέσου ανεμολογικού έτους.
Από έτος σε έτος	Οικονομική κοινότητα	Διαχρονική μεταβλητότητα και δυνατότητα κάλυψης της οφειλής ενός έτους με υποδεέστερους ανέμους.

Εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου από το ύψος

Η σχέση για την εξαγόμενη ισχύ από μια Α/Γ δείχνει ότι η ενεργειακή παραγωγή της Α/Γ εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στη θέση, την πυκνότητα του αέρα, το μέγεθος του δρομέα και τον τεχνικό σχεδιασμό. Ειδικά, το ύψος του πύργου επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος επάνω από το επίπεδο του εδάφους, φαινόμενο γνωστό ως διάτμηση του ανέμου. Ο βαθμός της διάτμησης του ανέμου εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες, την ατμοσφαιρική μίξη και την τραχύτητα του εδάφους.

Η τραχύτητα του εδάφους επιδρά στη διάτμηση του ανέμου καθορίζοντας το πόσο επιβραδύνεται ο άνεμος κοντά το έδαφος. Σε περιοχές με υψηλό βαθμό τραχύτητας, όπως τα

δάση ή οι πόλεις, οι ταχύτητες του ανέμου κοντά στην επιφάνεια τείνουν να είναι μικρές και η διάτμηση του ανέμου μεγάλη, ενώ το αντίστροφο ισχύει σε περιοχές με μικρή τραχύτητα, όπως είναι οι επίπεδοι, ανοικτοί αγροί. Η διάτμηση του ανέμου μπορεί να ελαττωθεί πολύ ή να εξαλειφθεί όπου υπάρχει μια απότομη αλλαγή στο ύψος του πεδίου, όπως μια απότομη ακρογιαλιά ή κορυφογραμμή. Στο σχήμα 3.22 παρουσιάζεται μια πιθανή μορφή του οριακού στρώματος της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 3.22. Τυπική καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου

Μια συνηθισμένη προσέγγιση για την καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου είναι η λογαριθμική:

$$V = (V_T / \kappa) \ln(h / Z_0) \quad (3.4)$$

όπου v είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h , v_T η ταχύτητα τριβής, κ η σταθερά von Karman (ίση με 0,4), και Z_0 το μήκος τραχύτητας, το οποίο σχετίζεται με την κάλυψη βλάστησης της περιοχής (από διάφορες πηγές διατίθενται πίνακες για τις τιμές του μήκους της τραχύτητας). Μερικές φορές χρησιμοποιείται ένας εκθετικός νόμος για την περιγραφή της κατανομής του ανέμου:

$$V = V_R (h / h_R)^a \quad (3.5)$$

όπου V_R είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_R . Ο εκθέτης a εξαρτάται από τα στοιχεία τραχύτητας του εδάφους και συχνά λαμβάνει την τιμή $1/7$.

Η ατμοσφαιρική μίξη συνήθως ακολουθεί έναν ημερήσιο κύκλο οδηγούμενο από την ηλιακή θέρμανση. Στο ύψος της πλήμνης μιας Α/Γ, ο κύκλος αυτός προκαλεί συχνά αύξηση της ταχύτητας του ανέμου την ημέρας και μείωση της τη νύχτα. Εντούτοις, το εύρος της μεταβολής μεταξύ νύχτας και ημέρας εν γένει μειώνεται καθώς αυξάνεται το ύψος της πλήμνης. Σε ύψος περίπου 10m ημερήσια μεταβολή μπορεί να είναι πολύ έντονη, αλλά καθώς αυτό αυξάνεται στα 50m αυτή εξασθενεί ή μπορεί ακόμη και να εξαφανιστεί.

Η λογαριθμική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου [εξίσ. (3.4)] μπορεί και πάλι να εφαρμοσθεί στα χαμηλότερα 100m, με κατάλληλες διορθώσεις ώστε να ληφθούν υπόψη οι ανωτέρω μεταβολές στην ατμοσφαιρική ευστάθεια.

Για την εξοικονόμηση χρημάτων, οι μετρήσεις του ανέμου μερικές φορές λαμβάνονται σε χαμηλότερο ύψος από αυτό του πύργου της Α/Γ. Στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητο να μετρηθεί η διάτμηση του ανέμου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας και σε διαφορετικές εποχές προκειμένου να προβλεφθεί με ακρίβεια η απόδοση μιας εγκατάστασης αιολικής ενέργειας. Η διάτμηση μπορεί να μετρηθεί με την παρακολούθηση των ταχυτήτων του ανέμου σε δύο ή τρία ύψη ενός πύργου.

Χωρικές μεταβολές

Όπως έχει αποδειχθεί, τα χαρακτηριστικά του αιολικού πόρου μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ γειτονικών θέσεων. Για προφανείς λόγους, οι ισχυρότεροι άνεμοι συνήθως βρίσκονται σε καλά εκτεθειμένες τοποθεσίες. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως οι λόφοι και οι κορυφογραμμές, μπορούν να επιταχύνουν τον άνεμο κατά το πέρασμα του από αυτά. Μια κορυφογραμμή είναι συνήθως ιδανική όταν είναι προσανατολισμένη κάθετα προς την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου και έχει μια μέση κλίση.

Πάντως, ενίοτε μπορεί να παρατηρηθούν ισχυροί άνεμοι σε μη προφανείς θέσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι ιδανικές για αιολικές μονάδες οι φαρδιές διαβάσεις αφού διοχετεύουν τους ανέμους που περνούν επάνω από μια οροσειρά, και καθώς μπορεί να δημιουργούνται αύρες από τον ψυχρό αέρα που καταβυθίζεται από τις κορυφές των βουνών στις κοιλάδες. Για την πρόβλεψη των ταχυτήτων του ανέμου σε σύνθετα εδάφη, επάνω από κτήρια και άλλα εμπόδια, και την ορογραφία της θέσης έχει αναπτυχθεί πληθώρα εργαλείων, μεταξύ των οποίων και περίπλοκα υπολογιστικά μοντέλα. Πάντως, δεν υπάρχει υποκατάστατο των άμεσων μετρήσεων.

3.4.1.4. Παγκόσμιο αιολικό δυναμικό

Οι παγκόσμιοι άνεμοι αποτελούν έναν καλό ενεργειακό πόρο και κατανέμονται εξίσου σε μεγάλες περιοχές του πλανήτη. Από εκτιμήσεις για τον πόρο προκύπτει ότι, η παρούσα ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως ισοδυναμεί με το 1% περίπου της συνολικής ενέργειας των

παγκόσμιων ανέμων. Προκειμένου να αξιολογηθεί αυτός ο πόρος είναι απαραίτητο να παρέχεται κάποια εκτίμηση για την ποσότητα του που είναι προσιτή, λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογία και τους περιορισμούς στη χρήση των γαιών σε κάθε περιοχή.

Το 1981 ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) διεξήγαγε τη μελέτη του παγκόσμιου αιολικού πόρου, μια προκαταρκτική εκτίμηση του οποίου αποδόθηκε ως ένας χάρτης αιολικής ενέργειας σε Watts/m^2 στα 10m επάνω από το έδαφος, όπου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το διεθνές δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών. Όμως, οι σταθμοί αυτοί δεν είχαν σχεδιαστεί για αξιολόγηση της αιολικής ενέργειας, οπότε τα στοιχεία τους συμπληρώθηκαν με πληροφορίες για τα ανώτερα στρώματα του αέρα και την τοπογραφία προκειμένου να βοηθηθεί η προεκβολή των δεδομένων.

Ο χάρτης δίνει μια γενική εικόνα του παγκόσμιου αιολικού πόρου. Δεν σημειώνονται όλες οι περιοχές με δυναμικό υψηλής ταχύτητας ανέμου, μερικές επειδή καλύπτουν μια πολύ μικρή έκταση, κάποιες επειδή υπάρχουν λίγα δεδομένα γι' αυτές, και άλλες λόγω τοπικών επιδράσεων που δεν έχουν ληφθεί πλήρως υπόψη. Επίσης, στην παρουσίαση των δεδομένων δεν γίνεται καμία θεώρηση των όποιων περιορισμών υφίστανται στη χρήση των γαιών και έτσι δεν παρέχεται εκτίμηση για την προσιτότητα του πόρου. Πολλές χώρες έχουν αναλύσει τον δικό τους αιολικό πόρο, όπως οι ΗΠΑ όπου έχουν διεξαχθεί μελέτες για ολόκληρη τη χώρα και για επιλεγμένες περιοχές.

Ο ευρωπαϊκός αιολικός πόρος έχει εκτιμηθεί στον Ευρωπαϊκό Αιολικό Άτλαντα. Για το σύνολο της Ευρώπης έχουν παραχθεί χάρτες που παρουσιάζουν την ταχύτητα (σε m/s) και την ισχύ του ανέμου (σε Watts/m^2) στα 50m επάνω από το έδαφος και για διάφορους τύπους ανάγλυφου. Τα αρχικά ανεμολογικά δεδομένα ελήφθησαν από κατάλληλους μετεωρολογικούς σταθμούς με μακροχρόνιες καταγραφές. Στη συνέχεια αυτά διορθώθηκαν ώστε να ληφθεί υπόψη η τοπογραφία, το ανάγλυφο του εδάφους και κάθε προστατευμένη από τον αέρα θέση, πριν από την προεκβολή τους σε άλλες περιοχές.

Η διασπορά των δεδομένων υποδηλώνει και πάλι ότι δεν διευκρινίζονται μερικές πεπερασμένες περιοχές με υψηλή ταχύτητα ανέμου. Επίσης, δεν διευκρινίζονται και κάποιες περιοχές χαμηλής ταχύτητας ανέμου, π.χ. προστατευμένες κοιλάδες σε μια περιοχή με υψηλές ταχύτητες ανέμου. Τέλος, δεν γίνεται κάποια κρίση για το προσιτό δυναμικό, και για το λόγο αυτό πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν διεξάγει τις δικές τους εθνικές ή περιφερειακές έρευνες. Επίσης, πολλές άλλες χώρες αξιολογούν τον αιολικό τους πόρο τελευταία, ειδικά η Ινδία και η Κίνα, οι οποίες έχουν ήδη αναλάβει δεσμεύσεις σχετικά με τη χρήση της αιολικής ενέργειας.

3.4.1.5. *Ιστορική αναδρομή και τρέχουσα ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας*

Η δομή των διασυνδεδεμένων αιολικών συστημάτων έχει εξελιχθεί από το πρώιμο Δανέζικο μοντέλο της δεκαετίας του '70 σε αυτό των μεγάλων Καλιφορνέζικων και των νεώτερων ευρωπαϊκών εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων. Καθώς τα αιολικά πάρκα της Καλιφόρνιας σχεδιάστηκαν και εγκαταστάθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '80, οι εγκαταστάσεις στη Δανία τη δεκαετία του '70 και αργότερα αποτελούνταν εν γένει από μικρές συστάδες μηχανών διασκορπισμένες γεωγραφικά σε ένα μεγάλο μέρος της χώρας. Τυπικά, μία διασυνδεδεμένη αιολική εγκατάσταση αποτελούνταν από το πολύ τρεις ή περισσότερες Α/Γ. Οι ντόπιοι αγρότες, κατασκευαστές και άλλοι πολίτες δημιούργησαν συνεταιρισμούς για να έχουν στην κατοχή τους και να λειτουργούν τις ανεμογεννήτριες, και για να χρησιμοποιούν και να πωλούν την παραγόμενη από τις μηχανές ισχύ. Αντίθετα, το μοντέλο της Καλιφόρνιας αφορούσε το σχηματισμό αιολικών πάρκων, δηλαδή μιας εμπορικής συνάθροισης μεγάλου αριθμού μηχανών σε στενή γεωγραφική εγγύτητα. Οι πρόσφατες ευρωπαϊκές εγκαταστάσεις ακολούθησαν το μοντέλο της Καλιφόρνιας, παρότι υπάρχουν διαφορές στα μεγέθη των εγκαταστάσεων (που οφείλονται κυρίως σε διαφορετικούς περιορισμούς στη χρήση των γαιών).

Το 1999 εγκαταστάθηκε παγκοσμίως το ποσό ρεκόρ των 3.900 MW νέου δυναμικού παραγωγής αιολικής ενέργειας, ενώ περίπου 2.500 MW τέθηκαν σε λειτουργία το 1998. Το 2000 εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως 3.800 MW νέου αιολικού δυναμικού, αντιπροσωπεύοντας ετήσιες πωλήσεις 4 δισεκατομμυρίων δολαρίων και ωθώντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ στα 17.300 MW περίπου, αρκετά για να παράγουν κάπου 37 δισεκατομμύρια kWh ηλεκτρικής ενέργειας κατ' έτος. Η αύξηση αυτού του έτους αφορούσε κυρίως την Ευρώπη, αφού σ' αυτήν εγκαταστάθηκαν περίπου 3.500 MW από το νέο δυναμικό, από τα οποία τα μισά (1.668 MW) στη Γερμανία.

Από το 1993, η αγορά νέων Α/Γ για παραγωγή καθαρής ισχύος από τον άνεμο στην Ευρώπη αναπτύσσεται με ρυθμό άνω του 40% ετησίως. Αυτό ώθησε την Ευρωπαϊκή Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας (EWEA) να αυξήσει το στόχο της για την περιοχή κατά 50%, από 40 GW σε 60 GW εγκατεστημένης ισχύος το 2010, από τα οποία τα 5 GW θα είναι υπεράκτια. Για το 2020, ο νέος στόχος που έχει τεθεί από την EWEA είναι για 150 GW, που θα παρέχουν ηλεκτρισμό σε 75 εκατομ. ανθρώπους. Περισσότεροι από 20.000 Ευρωπαίοι απασχολούνται στη βιομηχανία αιολικών, της οποίας το μερίδιο στις συνολικές πωλήσεις παγκοσμίως το 1999 ήταν πάνω από 90%.

Στην κατασκευή και εγκατάσταση των Α/Γ απασχολούνται, κατά μέσο όρο, έξι άτομα

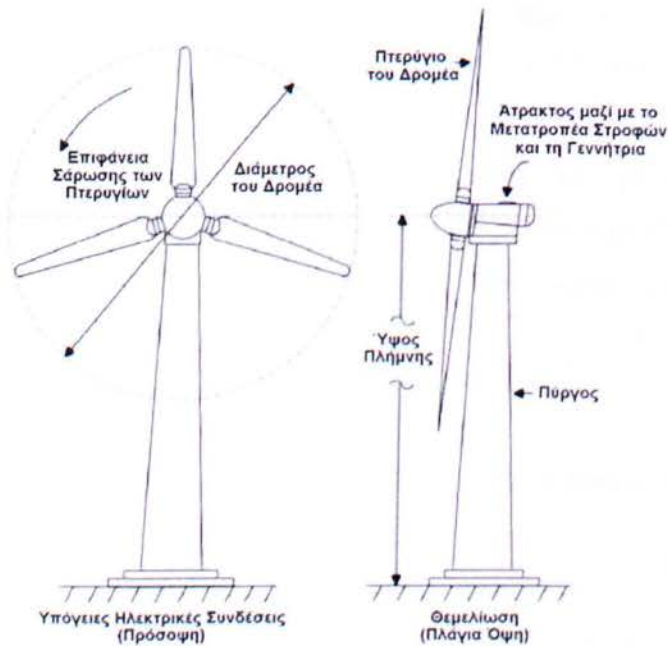
ετησίως για κάθε MW νεοκατασκευαζόμενων Α/Γ. Για τη λειτουργία και τη συντήρηση απασχολούνται από 100 έως 450 άτομα για κάθε TWh παραγόμενου ηλεκτρισμού ετησίως, όπου ο αριθμός ποικίλλει ανάλογα με την ηλικία και τον τύπο των Α/Γ. Σε κάθε θέση εργασίας στην κατασκευή, εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση των Α/Γ αναλογεί τουλάχιστον άλλη μία σε σχετικούς τομείς της βιομηχανίας, δηλαδή για συμβουλευτικές και νομικές υπηρεσίες, προγραμματισμό, έρευνα, χρηματοδότηση, πωλήσεις, μάρκετινγκ, δημοσιότητα και εκπαίδευση.

3.4.2. Περιγραφή των ανεμογεννητριών

3.4.2.1. Υπόβαθρο

Στο σχήμα 3.23 απεικονίζεται ένα γενικό σύστημα Α/Γ Οριζόντιου Άξονα (ΑΓΟΑ). Μία εξίσου εφικτή εναλλακτική σχεδίαση είναι η Α/Γ Κάθετου Άξονα (ΑΓΚΑ), που δεν είναι όμως τόσο συνήθης όσο η ΑΓΟΑ στα πρόσφατα έργα. Αν και δεν υφίσταται κάποια γενική μέθοδος για την ταξινόμηση των υποσυστημάτων των Α/Γ, οι συνιστώσες του σχήματος 3.23 θα μπορούσαν να διαιρεθούν σε τέσσερα (4) βασικά υποσυστήματα:

- Τον δρομέα, συνήθως αποτελούμενο από δύο ή τρία πτερύγια, μια πλήμνη μέσω της οποίας συνδέονται τα πτερύγια με τον χαμηλής ταχύτητας κινητήριο άξονα και, μερικές φορές, υδραυλικά ή μηχανικά οδηγούμενα συστήματα συνδέσμων για τη μεταβολή του βήματος του συνόλου ή μέρους των πτερυγίων.
- Την άτρακτο, η οποία γενικά περιλαμβάνει ένα μετατροπέα στροφών και μία γεννήτρια, άξονες και συνδέσμους, ένα κάλυμμα για ολόκληρη την άτρακτο, και συχνά ένα μηχανικό δισκόφρενο και ένα σύστημα εκτροπής.
- Τον πύργο και τη θεμελίωση που στηρίζει το δρομέα και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης (άτρακτος).
- Τους ηλεκτρικούς ελεγκτές και καλωδιώσεις, καθώς και τον εξοπλισμό εποπτείας και ελέγχου.



Σχήμα 3.23. Σχηματική αναπαράσταση μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Η ακολουθία των συμβάντων κατά την παραγωγή και μεταφορά της αιολικής ισχύος από μια ανεμογεννήτρια μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με το δρομέα της Α/Γ παράγεται μια ροπή.
- Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη γεννήτρια διέρχεται μέσω του συστήματος ελέγχου και των αποζευκτών της Α/Γ και ενισχύεται σε μια μέση τάση από το μετασχηματιστή.
- Το σύστημα καλωδίωσης της θέσης μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στο μετασχηματιστή της θέσης μέσω του συστήματος ελέγχου και αποζευκτών της θέσης, ο οποίος ενισχύει την τάση στην τιμή του δικτύου.
- Το δίκτυο ισχύος μεταβιβάζει τον ηλεκτρισμό στην περιοχή τελικής χρήσης του.
- Υποσταθμοί μετασχηματιστών μειώνουν την τάση στις οικιακές ή βιομηχανικές τιμές και τα τοπικά δίκτυα χαμηλής τάσης μεταβιβάζουν την ηλεκτρική ενέργεια στις οικίες, τα γραφεία και τα εργοστάσια.

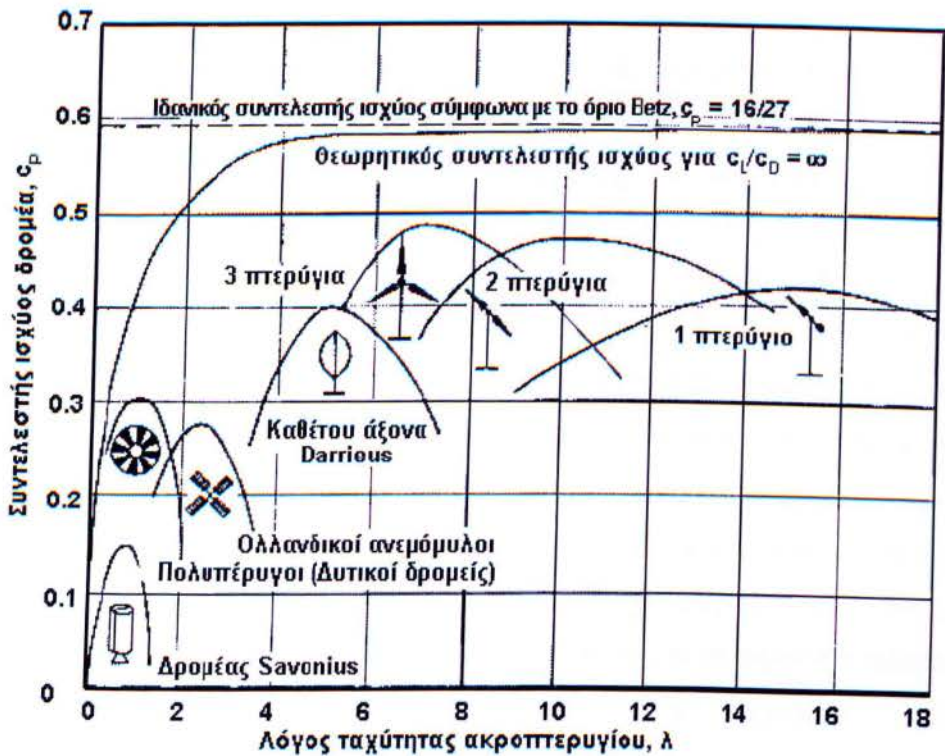
3.4.2.2. Δρομέας

Στην αιολική βιομηχανία έχει αναπτυχθεί μία τεχνολογία πτερυγίων δρομέα αρκετά ιδιόζουσα που έχει συντελέσει στην εμπορική παραγωγή σήμερα μεγάλων δρομέων μεδιάμετρο μέχρι 66m για Α/Γ της τάξης του MW, ενώ έχουν δοκιμαστεί δρομείς με διαμέτρους μέχρι 100m (Growian, MOD5B). Η σχεδίαση των πτερυγίων του δρομέα έχει προοδεύσει με τις γνώσεις από την πτερυγική τεχνολογία, και χρησιμοποιεί τις αεροδυναμικές ανωστικές δυνάμεις που υφίσταται μια αεροτομήσ' ένα κινούμενο ρεύμα αέρα. Την αεροδυναμική απόδοση του πτερυγίου επηρεάζουν τόσο η μορφή του πτερυγίου όσο και η γωνία του σε σχέση με τη σχετική κατεύθυνση του ανέμου.

Το σύστημα του δρομέα μπορεί να τοποθετηθεί είτε "ανάντη" του πύργου και της ατράκτου, δεχόμενο έτσι τον άνεμο αδιατάρακτο από τον πύργο, είτε "κατάντη" του πύργου, το οποίο επιτρέπει την αυτο-ευθυγράμμιση του δρομέα με την κατεύθυνση του ανέμου (εκτροπή), αλλά προκαλεί την παρέκκλιση του ανέμου από τον πύργο και τη μετατροπή του σε τυρβώδη πριν φθάσει στο δρομέα (σκίαση πύργου). Οι Α/Γ μπορεί να έχουν διάφορους αριθμούς πτερυγίων δρομέα. Ο κανόνας είναι ότι όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των πτερυγίων τόσο ταχύτερα περιστρέφεται ο δρομέας. Το μέτρο γι' αυτό είναι ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου λ , που ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας στο ακροπτερύγιο προς την ταχύτητα του ανέμου.

Οι σύγχρονες Α/Γ σχεδιάζονται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και οι δρομείς τους οδηγούν ηλεκτρογεννήτριες με κατά κανόνα υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Έτσι, οι δρομείς των Α/Γ πρέπει να περιστρέφονται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ταχύτητες προκειμένου να μειωθούν οι μάζες των γραναζιών μετάδοσης της κίνησης και των γεννητριών. Συνεπώς, ο αριθμός των πτερυγίων του δρομέα πρέπει να είναι μικρός, εν γένει όχι πάνω από τρία. Μόνο οι γνωστοί ανεμόμυλοι δυτικού τύπου διαθέτουν 12 έως 20 πτερύγια ή ακόμα περισσότερα, αλλά λόγω της υψηλής μηχανικής τους ροπής εφαρμόζονται στις άμεσα οδηγούμενες εμβολοφόρες αντλίες νερού.

Κανονικά, οι 3-πτερυγοί δρομείς έχουν λόγους ταχύτητας ακροπτερυγίου σχεδιασμού της τάξης του 6 έως 8, οι 2-πτερυγοί δρομείς 10 έως 12, και οι 1-πτερυγοί δρομείς ακόμα μεγαλύτερες τιμές (σχήμα 3.24). Από την άλλη, οι εμπορικές Α/Γ με υψηλές ταχύτητες ακροπτερυγίου έχουν το μειονέκτημα των υψηλών εκπομπών θορύβου από το δρομέα. Σε γενικές γραμμές, το επίπεδο έντασης του θορύβου του δρομέα αυξάνεται με την έκτη δύναμη της ταχύτητας ακροπτερυγίου, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι σχεδιαστές εμπορικών Α/Γ δεν υπερβαίνουν τα 70 m/s.

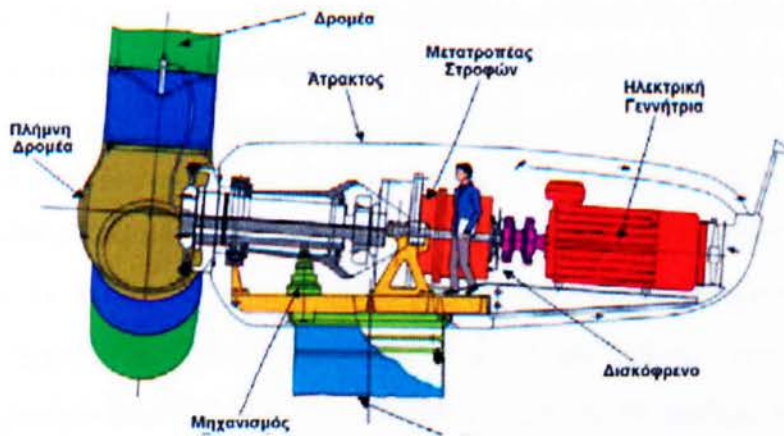


Σχήμα 3.24. Τυπικά διαγράμματα $C_p - \lambda$ για μία πληθώρα διατάξεων/πτερυγίων A/Γ

Η διάρκεια ζωής ενός δρομέα συσχετίζεται μετα μεταβαλλόμενα φορτία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που αντιμετωπίζει κατά τη λειτουργία του. Επομένως, οι εγγενείς μηχανικές ιδιότητες και ο σχεδιασμός του δρομέα επηρεάζουν την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των σύγχρονων πτερυγίων ανεμογεννητριών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- ξύλο (συμπεριλαμβανομένων των συνθετικών από αντικολλητά φύλλα ξύλου),
- συνδυασμοί συνθετικών (συνήθως πολυεστέρας ή εποξική μήτρα ενισχυμένα με ίνες γυαλιού), και
- μέταλλα (κυρίως κράματα χάλυβα ή αλουμινίου).

3.4.2.3. Άτρακτος



Σχήμα 3.25. Σχηματική παράσταση της άτρακτου μιας Α/Γ

Η άτρακτος στεγάζει το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και την ηλεκτρογεννήτρια της Α/Γ, μαζί με το μηχανισμό εκτροπής και όλο τον εξοπλισμό ελέγχου. Στο σχήμα 3.25 παρουσιάζονται σχηματικά οι μηχανισμοί της άτρακτου μιας μέσου/μεγάλου μεγέθους Α/Γ. Το προσωπικό συντήρησης μπορεί να εισέλθει στην άτρακτο από τον πύργο της ανεμογεννήτριας. Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του εξοπλισμού που εγκλείεται στην άτρακτο μιας τυπικής Α/Γ.

- **Κύριος άξονας:** Ο κύριος άξονας, προκειμένου να μεταφέρει την αρχική ροπή από το σύστημα του δρομέα στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, στηρίζεται συνήθως σε έδρανα. Λόγω των υψηλών φορτίων ροπής, ο κύριος άξονας είναι ευπαθής σε αστοχία κόπωσης. Κατά συνέπεια, γι' αυτό το εξάρτημα είναι ενδεδειγμένες οι αποτελεσματικές προσυτήρησης, μη-καταστρεπτικές δοκιμές. Σε μια σύγχρονη Α/Γ 600 kW ο δρομέας περιστρέφεται σχετικά αργά, με περίπου 19 έως 30 περιστροφές ανά λεπτό (RPM).
- **Δισκόφρενο:** Το δισκόφρενο μπορεί να εγκαθίσταται στον κύριο άξονα πριν από το μετατροπέα στροφών ή μετά από αυτόν στον άξονα υψηλής ταχύτητας. Στη δεύτερη περίπτωση, απαιτείται ένα πιο μικρό (και φθηνότερο) σύστημα πέδης προκειμένου να παρέχεται η απαραίτητη ροπή για την επιβράδυνση του δρομέα. Εντούτοις, αυτή η διάταξη δεν παρέχει άμεσο έλεγχο του δρομέα και, σε περίπτωση αστοχίας του μετατροπέα στροφών, χάνεται η δυνατότητα ελέγχου της πέδησης του δρομέα.

- **Μετάδοση της κίνησης:** Η ηλεκτρική παραγωγή των Α/Γ πρέπει να είναι συμβατή με τη συχνότητα (50-60 Hz) και την τάση του τοπικού δικτύου διανομής. Η συχνότητα του δρομέα είναι συνήθως περίπου 0,5 Hz, οπότε η αύξηση της συχνότητας προκύπτει από το συνδυασμό ενός μετατροπέα στροφών και μιας πολυ-πολικής γεννήτριας. Οι περισσότερες εμπορικές γεννήτριες έχουν 4 ή 6 ζεύγη πόλων, οπότε απαιτείται σχέση μετάδοσης περίπου 25:1. Η απλούστερη μέθοδος οδήγησης της γεννήτριας είναι η απευθείας από το δρομέα χωρίς μετατροπέα στροφών, ενώ όταν εξαλείφονται οι απώλειες ισχύος του μετατροπέα στροφών βελτιστοποιείται και η απόδοση της ενεργειακής μετατροπής.

Τότε όμως απαιτούνται ειδικές γεννήτριες χαμηλής ταχύτητας, με μεγάλες διαμέτρους ρότορα/στάτορα και περίπου 50 πόλους, για να επιτευχθεί η κατάλληλη συχνότητα (τέτοιος εξοπλισμός διατίθεται στο εμπόριο από μικρό μόνο αριθμό κατασκευαστών). Οι μικρού μεγέθους Α/Γ (50-150 kW) διαθέτουν μια ή δύο βαθμίδες μετάδοσης παράλληλου άξονα (με ελικοειδή γρανάζια για ελαχιστοποίηση του θορύβου και των απωλειών). Οι μεγαλύτερες εμπορικές Α/Γ (150-750 kW) συχνά διαθέτουν επικυκλικά ή πλανητικά συστήματα μετάδοσης της κίνησης, όπου ο άξονας της εξόδου είναι στην ίδια ευθεία με τον κύριο άξονα (έτσι μειώνονται οι τάσεις και οι απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης), με αντίστοιχη μείωση του μεγέθους.

- **Ηλεκτρογεννήτρια:** Αυτή μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του άξονα εισόδου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι γεννήτριες των Α/Γ είναι λίγο ασυνήθιστες, σε σχέση με άλλες μονάδες ηλεκτρογεννητριών που συνήθως συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι, αυτές πρέπει να είναι συμβατές με τις διατάξεις του δρομέα και του μετατροπέα στροφών στην είσοδο, και στην έξοδο με τη διανομή της εταιρείας ηλεκτρισμού (εάν συνδέονται με το δίκτυο) ή με τις τοπικές απαιτήσεις ισχύος (εάν αποτελούν μέρος ενός αυτόνομου συστήματος). Εάν μια διασυνδεδεμένη Α/Γ είναι εξοπλισμένη με μια ηλεκτρογεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος (EP), αυτή πρέπει να παράγει ισχύ σε φάση με την τροφοδοσία του δικτύου της εταιρείας ηλεκτρισμού.

Πολλές διασυνδεδεμένες Α/Γ διαθέτουν επαγωγικές γεννήτριες EP διεγερόμενες από πυκνωτές, των οποίων το ρεύμα μαγνήτισης προέρχεται από το δίκτυο, και έτσι εξασφαλίζεται ότι η συχνότητα εξόδου της γεννήτριας ταυτίζεται με αυτή της εταιρείας ηλεκτρισμού, ενώ ρυθμίζεται και η ταχύτητα του δρομέα εντός κάποιων ορίων. Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν ηλεκτρισμό σε συγχρονισμό με τη συχνότητα του περιστρεφόμενου άξονα τους, οπότε η ταχύτητα του δρομέα πρέπει να συμπίπτει ακριβώς με τη συχνότητα

εφοδιασμού της εταιρείας ηλεκτρισμού. Οι πολύ μικρές Α/Γ μπορεί να έχουν γεννήτριες που παράγουν συνεχές ρεύμα, το οποίο χρησιμοποιείται έπειτα για την τροφοδοσία φορτίων χαμηλής τάσης (συνήθως 12 Volt), τη φόρτιση συστοιχιών μπαταριών ή, μέσω ενός αντιστροφέα, για την παροχή ΕΡ υψηλότερης τάσης σ' ένα ηλεκτρικό δίκτυο.

- Σύστημα εκτροπής: Προκειμένου να εξαχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη από την κινητική ενέργεια του ανέμου, ο άξονας του δρομέα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με την κατεύθυνση του αέρα. Οι μικρές ανάντη Α/Γ (μέχρι 25 kW) χρησιμοποιούν συνήθως ουραίους ανεμοδείκτες για να παραμένει η μηχανή ευθυγραμμισμένη με τον άνεμο. Εντούτοις, οι μεγαλύτερες Α/Γ με ανάντη δρομείς απαιτούν ενεργό έλεγχο της εκτροπή για την ευθυγράμμιση της μηχανής με τον άνεμο. Όταν συμβεί μια αλλαγή στην κατεύθυνση του ανέμου αισθητήρες ενεργοποιούν το μηχανισμό ελέγχου της εκτροπής, ο οποίος περιστρέφει την άτρακτο και το δρομέα έως ότου ευθυγραμμιστεί κατάλληλα η Α/Γ. Οι κατάντη μηχανές όλων των μεγεθών μπορεί να διαθέτουν παθητικό έλεγχο εκτροπής, δηλαδή μπορούν να ευθυγραμμίζονται με την κατεύθυνση του ανέμου από μόνες τους χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ουραίου ανεμοδείκτη ή οδηγού εκτροπής.

3.4.2.4. Πύργος

Ο πύργος μιας Α/Γ υποστηρίζει το σύστημα της άτρακτου (που μπορεί να ζυγίζει αρκετούς τόνους) και ανυψώνει το δρομέα σε ένα ύψος όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά μεγαλύτερη και λιγότερο διαταραγμένη απ' ό,τι στο επίπεδο του εδάφους, λόγω της επίδρασης της διάτμησης του ανέμου. Σε περιοχές με μεγάλη τραχύτητα εδάφους η ύπαρξη ενός ψηλού πύργου αποτελεί πλεονέκτημα, καθώς τα πτερύγια των δρομέων στις Α/Γ με σχετικά χαμηλούς πύργους υπόκεινται σε πολύ διαφορετικές ταχύτητες ανέμου (και διαφορετική κάμψη) όταν φέρονται στην ανώτερη και κατώτερη θέση τους, το οποίο αυξάνει τα φορτία κόπωσης στην Α/Γ. Συχνά οι κατασκευαστές παραδίδουν τις Α/Γ με ύψος πύργου ίσο με τη διάμετρο του δρομέα.

Συνεπώς, η δομή του πύργου πρέπει να είναι ανθεκτική στα σημαντικά φορτία που οφείλονται στη βαρύτητα, την περιστροφή και την ώση του ανέμου. Επιπλέον, ο πύργος πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει στις περιβαλλοντικές επιδράσεις σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της Α/Γ, η οποία μπορεί να είναι 20 έτη ή περισσότερο. Η αξία του πύργου μιας Α/Γ αποτελεί εν γένει περίπου το 20% της συνολικής τιμής. Για έναν πύργο ύψους

περίπου 50m, το πρόσθετο κόστος για άλλα 10m πύργου είναι περίπου €17.500. Επομένως, είναι αρκετά σημαντικό για το τελικό κόστος της ενέργειας να κατασκευάζονται οι πύργοι όσο το δυνατόν πιο βέλτιστα. Οι συνήθεις τύποι των πύργων είναι οι εξής:

Σταθεροί σωληνωτοί πύργοι: Αυτοί κατασκευάζονται από κωνικά λεπτυνόμενο χάλυβα ή σκυρόδεμα. Οι περισσότερες μεγάλες Α/Γ τελευταία παραδίδονται με σωληνωτούς χαλύβδινους πύργους, οι οποίοι κατασκευάζονται σε τμήματα των 20 έως 30m με φλάντζες στα άκρα και συναρμολογούνται επιτόπου. Οι πύργοι είναι κωνικοί ώστε να αυξάνεται η αντοχή τους και, συγχρόνως, να εξοικονομείται υλικό. Οι πύργοι από σκυρόδεμα μεπλέγμα είναι γενικά λιγότερο εύκαμπτοι από τους χαλύβδινους, παρέχοντας έτσι βελτιωμένες ιδιότητες απόσβεσης (δεν διαβιβάζουν ούτε ενισχύουν τις προκαλούμενες από την περιστροφή ταλαντώσεις).

Σταθεροί δικτυωτοί πύρνοι: Οι πύργοι αυτοί κατασκευάζονται από συγκολλημένες χαλύβδινες κατατομές. Η ανέγερση τους είναι σχετικά φθηνή και απαιτούν λιγότερο στιβαρά θεμέλια από τους σωληνωτούς πύργους, λόγω της εξάπλωσης των δομικών φορτίων σε ευρύτερη έκταση. Έτσι, το βασικό πλεονέκτημά τους είναι στο κόστος, αφού ένας δικτυωτός πύργος απαιτεί μόνο το ήμισυ του υλικού ενός ελεύθερα ιστάμενου σωληνωτού μεπαρόμοια ακαμψία. Βασικό μειονέκτημα των δικτυωτών πύργων είναι η οπτική τους εμφάνιση, αν και το ζήτημα αυτό είναι σαφώς υποκειμενικό.

Ανυψούμενοι πύρνοι με επίτονους: Αυτοί έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα κόστους έναντι των άλλων τύπων, δεδομένου ότι μπορούν να ανυψωθούν ή να χαμηλωθούν με τη βοήθεια μιας μηχανής ανύψωσης φορτίων, χωρίς την ανάγκη για γερανό. Επομένως, είναι δυνατή η συντήρηση του δρομέα και της ατράκτου στο έδαφος. Ηδιάμετρος των πύργων με επίτονους είναι, στην πράξη, πολύ μικρότερη απ' ό,τι των σωληνωτών πύργων. Οι πύργοι με επίτονους, μαζί με τις δικτυωτές διατάξεις, έχουν λιγότερη επίδραση λόγω σκίασης του πύργου από τους σωληνωτούς. Πάντως, απαιτούν μεγαλύτερο εμβαδόν εδάφους λόγω της ανάγκης για αρκετά ευρεία εξάπλωση των επίτονων, το οποίο μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα εάν χρησιμοποιούνται μηχανές για τις καλλιέργειες γύρω από τις βάσεις των Α/Γ. Η βοσκή των ζώων δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα.

3.4.2.5. Έλεγχος της ισχύος

Με την αύξηση της ταχύτητας ροής του αέρα, οι αεροδυναμικές ανωστικές δυνάμεις στα πτερύγια του δρομέα αυξάνονται με την 2^η δύναμη και η παραγόμενη από την Α/Γ ενέργεια

με την 3^η δύναμη της ταχύτητας του ανέμου, το οποίο απαιτεί έναν πολύ αποτελεσματικό και άμεσης δράσης έλεγχο ισχύος του δρομέα ώστε να αποφευχθεί η μηχανική και ηλεκτρική υπερφόρτωση στο σύστημα μετάδοσης ενέργειας της Α/Γ. Στις σύγχρονες Α/Γ εφαρμόζονται δύο διαφορετικές αρχές αεροδυναμικού ελέγχου για να περιοριστεί η παραγωγή ισχύος στην ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Η πιο παθητική από αυτές είναι γνωστή ως "έλεγχος με απώλεια στήριξης", ενώ η ενεργή είναι ο "έλεγχος με μεταβολή του βήματος".

Στην πρώτη περίπτωση την παραγωγή ισχύος καθορίζουν οι εγγενείς αεροδυναμικές ιδιότητες του πτερυγίου, και δεν υπάρχει κανένα κινούμενο μέρος που να ρυθμίζεται. Η συστροφή και το πάχος του πτερυγίου του δρομέα μεταβάλλονται κατά το μήκος αυτού με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλείται τύρβη πίσω από το πτερύγιο όποτε αυξάνεται πολύ η ταχύτητα του ανέμου. Αυτή η τύρβη αναγκάζει μέρος από την ενέργεια του ανέμου να διασκορπιστεί, ελαχιστοποιώντας την παραγωγή ισχύος στις υψηλότερες ταχύτητες. Οι μηχανές με έλεγχο απώλειας στήριξης διαθέτουν επίσης αερόφρενα στα ακροπερύγια που φέρουν το δρομέα σε ακινησία, εάν χρειαστεί για οποιοδήποτε λόγο να σταματήσει η Α/Γ.

Στη δεύτερη περίπτωση, η γωνία των πτερυγίων του δρομέα μπορεί να ρυθμίζεται ενεργά από το σύστημα ελέγχου της μηχανής. Το σύστημα ελέγχου μεταβολής του βήματος έχει ενσωματωμένα πέδη, καθώς τα περύγια ακινητοποιούνται όταν είναι πλήρως "πτερυγωμένα". Κατά το παρελθόν, η πλειοψηφία των μικρού και μεσαίου μεγέθους συστημάτων Α/Γ χρησιμοποιούσαν τον απλό έλεγχο απώλειας στήριξης, αλλά τελευταία, με την αύξηση του μεγέθους των Α/Γ, οι κατασκευαστές προτιμούν όλο και περισσότερο το σύστημα ελέγχου μεταβολής του βήματος, το οποίο παρέχει περισσότερες δυνατότητες για παρέμβαση στη λειτουργία της Α/Γ.

Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκε και ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω ελέγχων, η "ενεργός απώλεια στήριξης". Στην περίπτωση αυτή, το βήμα του πτερυγίου του δρομέα στρέφεται σε κατεύθυνση προς την απώλεια στήριξης και όχι προς τη θέση πτερυγώματος (μικρότερη άνωση), όπως γίνεται στα κανονικά συστήματα μεταβολής του βήματος. Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ότι:

- απαιτούνται πολύ μικρές αλλαγές της γωνίας βήματος,
- είναι δυνατός ο έλεγχος ισχύος υπό συνθήκες μερικής ισχύος (ασθενείς άνεμοι),
- τα περύγια του δρομέα φέρονται σε θέση πτερυγώματος για χαμηλά φορτία σε σφοδρούς ανέμους.

3.4.2.6. Ταχύτητα του δρομέα

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες συνδέονται στο δίκτυο με δύο τρόπους. Με τον απλό άμεσο συγχρονισμό μιας επαγωγικής ηλεκτρογεννήτριας, ο δρομέας λειτουργεί με σχεδόν σταθερή ταχύτητα επειδή το ισχυρό δίκτυο διατηρεί τη συχνότητα της γεννήτριας και η μόνη διακύμανση στην ταχύτητα περιστροφής προκαλείται από το εύρος ολίσθησης της γεννήτριας. Με τη βοήθεια ενός συστήματος αντιστροφεία μεταξύ της γεννήτριας της Α/Γ και του δικτύου, η Α/Γ αποσυνδέεται από τη συχνότητα του δικτύου και μπορεί να περιστρέφεται με μεταβλητές ταχύτητες.

Για πολλά χρόνια, στην παγκόσμια αγορά κυριάρχησαν οι άμεσα συνδεδεμένες στο δίκτυο Α/Γ λόγω της τεχνικής τους απλότητας, αλλά οι διάφορες θετικές πτυχές της λειτουργίας με μεταβλητή ταχύτητα του δρομέα μετέβαλαν το υφιστάμενο καθεστώς ανάπτυξης. Όπως αναφέρθηκε, ηαεροδυναμικά βελτιστοποιημένη διαμόρφωση των Α/Γ βασίζεται σε μια σταθερή συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων του ανέμου και του ακροπερυγίου του δρομέα, τον λόγο ταχύτητας ακροπερυγίου A . Έτσι, προκειμένου να διατηρηθεί η μέγιστη αεροδυναμική αποδοτικότητα, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

Ως αποτέλεσμα, οι νέες μεγάλες Α/Γ της τάξης του MW χρησιμοποιούν ολοένα και περισσότερο μεταβλητή ταχύτητα του δρομέα προκειμένου να εκμεταλλεύονται τα αντίστοιχα τεχνικά οφέλη. Για να προσαρμόζεται καλύτερα η λειτουργία του δρομέα στο σημείο αεροδυναμικού σχεδιασμού (σχήμα 3.24), οι κατασκευαστές εγκαθιστούν συχνά επαγωγικές γεννήτριες δύο ταχυτήτων που επιτρέπουν την αλλαγή ταχύτητας του δρομέα σε δύο βήματα. Σε μικρές ταχύτητες ανέμου η γεννήτρια λειτουργεί με μικρή ταχύτητα περιστροφής (μεγαλύτερος αριθμός πόλων) και σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου με μεγάλη ταχύτητα περιστροφής (μικρότερος αριθμός πόλων).

3.4.3. Χαρακτηριστικά της αιολικής απόδοσης

3.4.3.1. Εύρος εφαρμογών των ανεμογεννητριών

Κατηγορίες εφαρμογής

Οι ηλεκτροπαραγωγές Α/Γ έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τις μεμονωμένες, αυτόνομες εγκαταστάσεις έως τις μεγάλες διατάξεις ανεμογεννητριών, που μπορεί να

συνδέονται σε υπάρχον δίκτυο ή να συνδυάζονται με άλλες μη-συνδεδεμένες στο δίκτυο πηγές ενέργειας. Το εύρος των εφαρμογών μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τρεις κλάσεις. Τα αιολικά πάρκα, δηλ. οι μεγάλες σειρές Α/Γ που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο, διαμορφώνουν το ένα άκρο του φάσματος εφαρμογών. Από την άποψη του εγκατεστημένου δυναμικού και του οικονομικού αντίκτυπου, την περίοδο αυτή τα αιολικά πάρκα αποτελούν τη μεγαλύτερη κατά πολύ κλάση εφαρμογής των Α/Γ.

Οι άλλες δύο κλάσεις εφαρμογής χρησιμοποιούν συνήθως μικρότερο αριθμό Α/Γ με μικρότερο μέγεθος μονάδας. Αυτές είναι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται για διασυνδεδεμένη, κατανεμημένη παραγωγή και Α/Γ που συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας και μπορούν να λειτουργούν χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μεγαλύτερου ηλεκτρικού δικτύου. Αυτά είναι τα αποκαλούμενα "υβριδικά" συστήματα. Και οι δύο κλάσεις έχουν ιστορικά προηγούμενα τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη.

Αιολικά Πάρκα

Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από σειρές Α/Γ που διασυνδέονται ηλεκτρικά ώστε η ισχύς τους να αποδίδεται στο δίκτυο της εταιρείας ηλεκτρισμού. Από την άποψη της ροής ηλεκτρικής ισχύος, ένα αιολικό πάρκο λειτουργεί παράλληλα μετοσυμβατικό δυναμικό παραγωγής της εταιρείας ηλεκτρισμού για την κάλυψη των απαιτήσεων σε ισχύ του συνδεδεμένου φορτίου. Οι σειρές μπορεί να αποτελούνται από εκατοντάδες μηχανών με ένα συνδυασμένο δυναμικό ισχύος του αιολικού πάρκου της τάξης των εκατοντάδων MW. Σχεδόν πάντοτε οι συμβατικές πηγές παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος που απαιτείται από το φορτίο.

Γενικά, η αναλογία του δυναμικού αιολικής παραγωγής προς το συνολικό δυναμικό (αιολικό συν συμβατικό) που εξυπηρετεί ένα ηλεκτρικό φορτίο σε οποιαδήποτε δεδομένη χρονική στιγμή υπολογίζεται από την αιολική διείσδυση WP:

$$WP = \frac{\text{Αιολικό Δυναμικό}}{\text{Αιολικό Δυναμικό} + \text{Συμβατικό Δυναμικό}}$$

Για παράδειγμα, υποτίθεται ότι σε μία δεδομένη στιγμή της ημέρας το ηλεκτρικό φορτίο είναι 1.100 MW και ότι η ζήτηση αυτή καλύπτεται από συνδυασμό αιολικών και συμβατικών πηγών ηλεκτροπαραγωγής. Εάν το υφιστάμενο αιολικό δυναμικό είναι 100 MW και το

συμβατικό δυναμικό 1.000 MW, τότε σ' αυτή τη χρονική στιγμή τιμή της αιολικής διεύθυνσης θα είναι 0,0909 ή 9,1%.

Με την τρέχουσα ηλεκτρική τεχνολογία των Α/Γ, η μέγιστη τιμή αιολικής διεύθυνσης με την οποία τα περισσότερα ηλεκτρικά συστήματα είναι ασφαλή κυμαίνεται μεταξύ 10 και 15%. Το άνω όριο στην ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρικό σύστημα αντικατοπτρίζει τις ανησυχίες γύρω από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ισχύος που παρέχεται από το αιολικό σύστημα, που είναι η ποιότητα ισχύος. Ειδικότερα, η ανησυχία σχετίζεται με την επίδραση της χρονικά μεταβαλλόμενης αιολικά παραγόμενης ισχύος στη βραχυπρόθεσμη ευστάθεια της τάσης και της συχνότητας της συνδυασμένης ισχύος που παρέχεται στο φορτίο.

Η αποδεκτή τιμή διεύθυνσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι οι λεπτομέρειες της αιολικής τεχνολογίας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των συμβατικών πηγών παραγωγής, και η δυναμικότητα και το μήκος των γραμμών μεταφοράς που συνδέουν τις πηγές με το φορτίο. Το άνω όριο στην ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να συνδυαστεί με τις συμβατικές πηγές δεν αποτελεί αυστηρό περιορισμό, και η τιμή του θα αυξηθεί με την απόκτηση περισσότερης λειτουργικής εμπειρίας, τις αλλαγές της τεχνολογίας και την πιο στενή συσχέτιση των συστημάτων ελέγχου των αιολικών και των συμβατικών πηγών.

Η εντατική ανάπτυξη των συστημάτων αυτών τα προηγούμενα 15 έτη οδήγησε στην αύξηση του μοναδιαίου μεγέθους τους (τελευταία, οι δυναμικότητες ισχύος των Α/Γ που σχεδιάζονται πρωτίστως για χρήση σε αιολικά πάρκα κυμαίνονται από περίπου 300 kW έως 1,5 MW, με τις αντίστοιχες διαμέτρους δρομέων να κυμαίνονται από 35 έως 65m), καθώς και στη θεαματική βελτίωση της αξιοπιστίας και των οικονομικών τους. Τα οικονομικά των διασυνδεδεμένων αιολικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας προσεγγίζουν σήμερα εκείνα κάποιων συμβατικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής.

Στην περίπτωση που το σ_p φθάσει το θεωρητικό του μέγιστο (όριο "Betz"), η ταχύτητα του ανέμου V_2 πίσω από το δρομέα είναι μόνο το 1/3 της ταχύτητας v_1 μπροστά από αυτόν (σχήμα 3.19). Έτσι, οι Α/Γ που εγκαθίστανται σε ένα αιολικό πάρκο παράγουν λιγότερη ενέργεια λόγω της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου που προκαλείται από τις Α/Γ που βρίσκονται μπροστά τους. Οι απώλειες ενέργειας μπορούν να μειωθούν με την αύξηση της απόστασης μεταξύ των Α/Γ, καθώς ο άνεμος πίσω από μια Α/Γ θα επιταχυνθεί ξανά από το περιβάλλον αιολικό πεδίο. Ένα καλά σχεδιασμένο αιολικό πάρκο μπορεί να εμφανίζει λιγότερο από 10% απώλειες λόγω των φαινομένων αμοιβαίας αλληλεπίδρασης.

Όπως υπάρχει ένα εύρος μεγεθών των Α/Γ, έτσι υπάρχει και ένα εύρος μεγεθών των αιολικών πάρκων. Τα μεγάλα πάρκα της Καλιφόρνιας είναι στο ένα άκρο αυτού του φάσματος, με το άλλο άκρο να αντιστοιχεί σε μια μικρή συστοιχία Α/Γ που εξυπηρετεί μια δημοτική εταιρεία ηλεκτρισμού, ένα συνεταιριστικό αγρόκτημα, ή μια βιομηχανική μονάδα. Ανεξάρτητα από το μέγεθος, τα βασικά χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου είναι ότι:

οι Α/Γ διασυνδέονται σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο,

το αιολικό δυναμικό παραγωγής συνήθως αποτελεί εν γένει μικρό ποσοστό του συμβατικού δυναμικού που τροφοδοτεί το φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος (χαμηλές τιμές αιολικής διείσδυσης), και οι Α/Γ απαιτούν κάποιου είδους ηλεκτρική υποστήριξη από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ανάλογα με τις λεπτομέρειες της γεννήτριας και των άλλων ηλεκτρικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε μια Α/Γ, η υποστήριξη μπορεί να κυμαίνεται από μια απλή αναφορά στη συχνότητα (για το συγχρονισμό του αιολικά παραγόμενου ηλεκτρισμού με αυτόν των συμβατικών πηγών) μέχρι την κατανάλωση άεργης ισχύος (απαιτείται για τη λειτουργία των γεννητριών των Α/Γ). Ανεξάρτητα από το μέγεθος του αιολικού πάρκου, χρησιμοποιούνται τυποποιημένες ηλεκτρικές τεχνικές και συνιστώσες (π.χ. μετασχηματιστές και προστατευτικός εξοπλισμός διανομής) για τη σύνδεση των Α/Γ με το δίκτυο. ΗΑ/Γ αποτελεί τη μόνη μη-τυποποιημένη ηλεκτρική συνιστώσα.

Κατανεμημένη Παραγωγή

Είναι πιθανό οι ανεμογεννήτριες να επαναφέρουν στη μνήμη τους ανεμόμυλους άντλησης νερού που χρησιμοποιούνταν ευρέως το πρώτο ήμισυ αυτού του αιώνα σε αγροκτήματα και φάρμες παγκοσμίως. Αυτές οι πρώιμες, μικρής κλίμακας Α/Γ έχουν πλέον εκτοπιστεί από τα εξελιγμένα και αποδοτικότερα ισοδύναμά τους που κυρίως χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Αν και δεν υπάρχουν τεχνικοί λόγοι για τους οποίους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες μονάδες, το μοναδιαίο μέγεθος των συστημάτων αυτών κυμαίνεται συνήθως από 1 έως 50 kW. Προορίζονται για μεμονωμένη χρήση ή κατά μικρές συστοιχίες, ενώ μπορούν να συνδέονται ή όχι στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση καλούνται συστήματα κατανεμημένης αιολικής παραγωγής.

Από την πλευρά της εταιρείας ηλεκτρισμού αλλά και των πελατών, η κατανεμημένη παραγωγή μπορεί να είναι χρήσιμη για την παροχή υποστήριξης τέλους γραμμής της τάσης σ' ένα εκτεταμένο δίκτυο. Τα κατανεμημένα αιολικά συστήματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική λύση στην επέκταση του δικτύου σε απόμακρα φορτία.

Όπως παρατηρείται, οι εφαρμογές των αιολικών συστημάτων διαμορφώνουν ένα συνεχές σύνολο και σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι σαφής η διάκριση μεταξύ ενός αιολικού πάρκου και ενός κατανεμημένου συστήματος. Η μόνη διαφορά μπορεί να αφορά το μέγεθος ή τον αριθμό των Α/Γ που χρησιμοποιούνται.

Όταν δεν υφίσταται σύνδεση με το δίκτυο, η ηλεκτρική ισχύς είναι μη ελεγχόμενη. Μόνο το φορτίο και η παραγωγή της Α/Γ καθορίζουν την ποιότητα ισχύος και τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας. Κατά συνέπεια, το φορτίο πρέπει να είναι ικανό να χρησιμοποιεί αυτού του είδους τη μη ελεγχόμενη ισχύ χωρίς να προξενείται ζημία ούτε στο φορτίο ούτε στη γεννήτρια της Α/Γ. Σχετικές εργασίες βρίσκονται σε εξέλιξη ώστε να βελτιωθεί αυτή η κατάσταση, όπου ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει αυτή που έχει ως στόχο την επιτυχή σύνδεση ενός επαγωγικού κινητήρα απευθείας με μια μη διασυνδεδεμένη Α/Γ. Στα παραδείγματα εφαρμογής περιλαμβάνονται οι Α/Γ που χρησιμοποιούνται για άντληση ύδατος, παραγωγή πάγου και για παραγωγή ψύξης.

Υβριδικά συστήματα ισχύος

Τα υβριδικά συστήματα ισχύος χρησιμοποιούν ανεμογεννήτριες, ενδεχομένως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μαζί με νηξελογεννήτριες για να μορφώσουν το ισοδύναμο μιας μικρογραφίας δίκτυου. Μολονότι το μέγεθος μονάδας των Α/Γ στις εφαρμογές αυτές συνήθως κυμαίνεται από 1 ως 50 kW, έχουν εγκατασταθεί και πολύ μεγαλύτερες μηχανές και υβριδικά συστήματα ισχύος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με νηξελογεννήτριες, ενεργειακή αποθήκευση (π.χ. μπαταρίες) και, όπου είναι εφικτό, με άλλες ΑΠΕ, π.χ. φωτοβολταϊκά ή υδροηλεκτρικά συστήματα.

Όταν χρησιμοποιούνται με τον τρόπο αυτό, τα συστήματα αυτά συχνά ονομάζονται υβριδικά συστήματα ισχύος. Εν γένει χρησιμοποιούνται όπου δεν υφίσταται καθόλου δίκτυο. Λόγω της στενής σύζευξης και ελέγχου όλων των πηγών ηλεκτροπαραγωγής και κάποιων (ή/και όλων) από τα συνδεδεμένα φορτία, η αιολική συνιστώσα των υβριδικών συστημάτων ισχύος μπορεί να επιτύχει 100% διείσδυση. Δηλαδή, υπό τις κατάλληλες ανεμολογικές συνθήκες, το σύστημα αιολικής ενέργειας μπορεί να παρέχει σχεδόν όλη την ισχύ που απαιτείται από το φορτίο.

3.4.3.2. *Ενεργειακή παραγωγικότητα των αιολικών συστημάτων*

Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια του έτους, υπάρχουν στιγμές κατά τις οποίες δεν πνέει άνεμος ή πνέει με

ταχύτητες κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης μιας Α/Γ. Προφανώς, τα αιολικά συστήματα δεν παράγουν ενέργεια καθ' όλες τις 8.760 ώρες ενός έτους. Ακόμα και όταν ένα αιολικό σύστημα παράγει ενέργεια, αυτό δεν γίνεται πάντα στην πλήρη ονομαστική του ισχύ. Έτσι απαιτείται ένα μέτρο της ενεργειακής παραγωγικότητας του αιολικού συστήματος όπως είναι ο συντελεστής δυναμικού CF , μια περιγραφική παράμετρος που καθορίζεται και χρησιμοποιείται στην ηλεκτρική βιομηχανία.

Ως ενεργειακός λόγος, η παράμετρος αυτή δεν παρέχει καμία πληροφορία για τις φυσικές διεργασίες που συνδέονται με τη μετατροπή της ενέργειας που περιέχεται στον άνεμο σε ηλεκτρική ενέργεια. Απαιτείται, λοιπόν, μία περιγραφή της σχέσης μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας Α/Γ ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου (καμπύλη ισχύος) καθώς και η μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο (κατανομή συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου). Οι συναρτήσεις αυτές μαζί περιγράφουν το συνδυασμό των χαρακτηριστικών της ηλεκτροπαραγωγής από την Α/Γ με αυτά του καθεστώτος του ανέμου στο οποίο λειτουργεί η Α/Γ, και χρησιμοποιούνται για να προβλεφθεί ή να εκτιμηθεί η ενεργειακή της παραγωγή.

Αφού ληφθούν υπόψη οι απώλειες στο σύστημα συλλογής της ηλεκτρικής ενέργειας, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών σ' ένα αιολικό πάρκο, και άλλες απώλειες, μπορούν να αθροιστούν οι παραγωγές των μεμονωμένων Α/Γ ώστε να διαμορφωθεί μια εκτίμηση για την ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου. Αυτές οι εκτιμήσεις ή προβλέψεις συνηθέστερα γίνονται για ένα ημερολογιακό έτος και είναι γνωστές ως η «ετήσια ενεργειακή παραγωγή» της Α/Γ ή του αιολικού πάρκου.

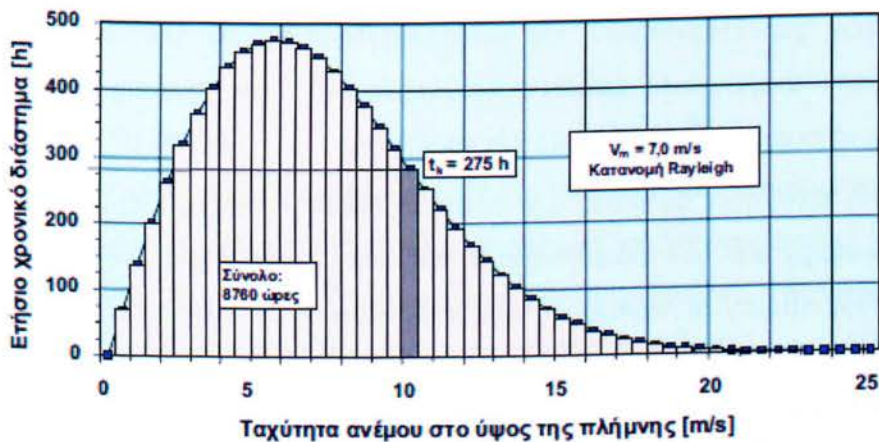
Εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής

Η ένταση του αιολικού πόρου περιγράφεται ποσοτικά από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ αποτελεί την ποσοτική συσχέτιση μεταξύ της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και της προσπίπτουσας ταχύτητας του ανέμου. Οι δύο αυτές συναρτήσεις μαζί καθορίζουν την ετήσια ενεργειακή παραγωγή (EEI), και τόσο αυτές όσο και η μεταξύ τους συσχέτιση επεξηγούνται στα επόμενα. Στη γραφική παράσταση του σχήματος 2.9 παρουσιάζεται η διακριτή εκδοχή μιας υποθετικής/μετρημένης κατανομής της ταχύτητας του ανέμου στη θέση εγκατάστασης της Α/Γ.

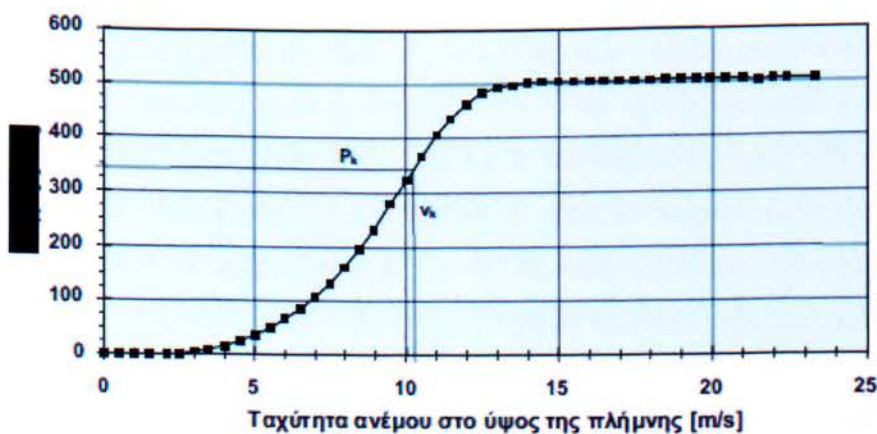
Η συνάρτηση κατανομής της ταχύτητας του ανέμου $F(v)Av$ παρέχει τον αριθμό των ωρών ανά έτος που η ταχύτητα του ανέμου κείται μέσα στο διάστημα της ταχύτητας του ανέμου ή ζώνη πλάτους Δv , μεταξύ των τιμών v και $v+\Delta v$ (για το σχήμα 3.26, $\Delta v=0,5$ m/s). Ο δείκτης

k καθορίζει τις ζώνες της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, η ζώνη $k=21$ αντιστοιχεί στη ζώνη που οριοθετεί το φάσμα από 10 έως 10,5 m/s, με μέση ταχύτητα $V_k=10,25$ m/s. Το ύψος της ράβδου για $k=21$ υποδηλώνει ότι η ταχύτητα του ανέμου κείται μέσα σ' αυτό το διάστημα για περίπου 275 ώρες/έτος. Το άθροισμα όλων των ράβδων είναι 8.760 ώρες (αριθμός ωρών σ' ένα έτος).

Στο σχήμα 3.27 απεικονίζεται η καμπύλη ισχύος για μία υποθετική Α/Γ 500 kW στην τυπική πυκνότητα του αέρα ($1,225$ kg/m³). Η καμπύλη ισχύος $P(v)$ είναι η συνεχής συνάρτηση που προσδιορίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Η διακριτή εκδοχή, που αντιστοιχεί στα μικρά τετραγωνικά σύμβολα, υποδηλώνεται με το P_k όπου ο ακέραιος δείκτης k είναι ο ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιείται για την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 3.26. Ιστόγραμμα της ετήσιας ταχύτητας του ανέμου ($v_k=10,25$ m/s, $t_k=275$ h)



ισχύος ανεμογεννήτριας 500 kW ($P_k=345$ kW, $v_k=10,25$ m/s)

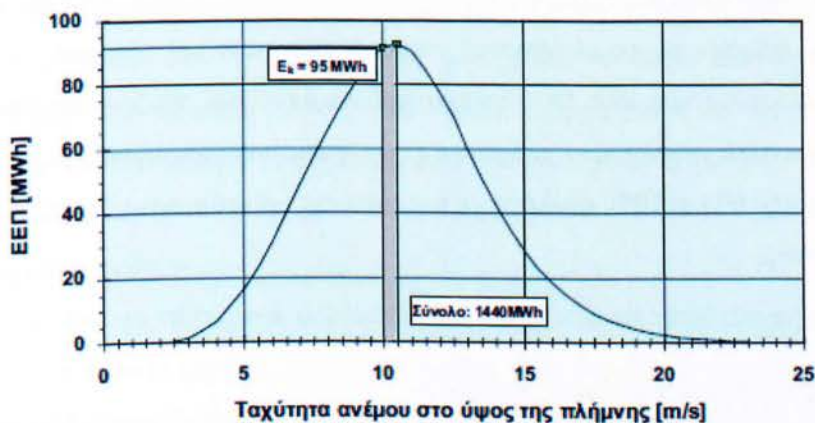
Σχήμα 3.27α. Καμπύλη

Οι δύο αυτές συναρτήσεις, δηλ. η κατανομή συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου και η καμπύλη ισχύος της Α/Γ, όταν πολλαπλασιαστούν μεταξύ τους (σχήμα 2.11) και αθροιστούν

για όλες τις ταχύτητες του ανέμου (όλες τις τιμές του δείκτη k) παρέχουν μια εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής:

$$ΕΕΠ = (\text{ώρες/έτος}) \Delta v \sum_{k=1}^N (F_k P_k) = (8760 \text{ ώρες/έτος}) (0,5 \text{ m/s}) \sum_{k=1}^N (F_k P_k) \quad (3.6)$$

όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των ζωνών. Ησχέση (3.6) μπορεί να εφαρμοσθεί για να εκτιμηθεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή (σε Wh/έτος) η οποία αναμένεται από την Α/Γ με μια συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος που λειτουργεί στο καθεστώς ανέμου που περιγράφεται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 3.27β. Ο συντελεστής δυναμικού ως μέτρο της ενεργειακής παραγωγής

Ο συντελεστής δυναμικού CF_{yr} (για ένα έτος) είναι ένα μέτρο της ετήσιας απόδοσης ενεργειακής παραγωγής της γεννήτριας. Ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής (ή εκτιμούμενης) παραχθείσας ενέργειας προς την ενέργεια που θα παραγόταν εάν η Α/Γ λειτουργούσε κάθε ώρα του έτους σε πλήρη ονομαστική ισχύ:

$$CF_{yr} = \frac{(\text{Παραγωγή Ενέργειας/έτος})}{\text{Ονομαστική Ισχύς} \times 8760 \text{ ώρες/έτος}} \quad (3.7)$$

Οι τιμές του συντελεστή δυναμικού κυμαίνονται εξ ορισμού από 0 έως 100%. Στις πιο αποδοτικές αιολικές εγκαταστάσεις διεθνώς έχουν επιτευχθεί τιμές του συντελεστή δυναμικού από 24 έως 30%, με 28% να αντιστοιχεί σε μια αρκετά καλή μονάδα.

$$CF_{yr} = \frac{245 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{(100 \text{ MW} \times 8760 \text{ ώρες})} \quad (3.7)$$

Για παράδειγμα, εάν ένα αιολικό σύστημα 100 MW παράγαγε 245 εκατομ. kWh κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου έτους, ο αντίστοιχος συντελεστής δυναμικού θα ήταν:

Αντίστοιχα, η εξίσωση (3.7) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή μίας υποθετικής Α/Γ 500 kW που λειτουργεί με ένα συντελεστή δυναμικού 0,28. Το αποτέλεσμα τότε είναι $1,226 \times 10^6$ kWh/έτος. Όταν εξετάζονται οι τιμές CF των αιολικών συστημάτων πρέπει να εξακριβώνεται η περίοδος αναφοράς. Αυτή είναι συνήθως ένα έτος, αλλά συντελεστές δυναμικού μπορεί να καθορίζονται και για ένα μήνα.

Εάν σ' αυτόν τον μήνα υφίστανται πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου, τότε η αντίστοιχη τιμή του CF μπορεί να είναι παραπλανητική εάν εκληφθεί ως μέση ετήσια τιμή. Από την άλλη, πρέπει να αναφερθεί ότι οι συμβατικές πηγές είναι κι αυτές διακοπτόμενες κατά διαφορετικό τρόπο, δεδομένου ότι υπόκεινται σε διάφορους τύπους διακοπών λειτουργίας, π.χ. λόγω συντήρησης, δυσλειτουργιών, κλπ. Οι συντελεστές δυναμικού των συμβατικών συστημάτων ισχύος είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από αυτούς των ανεμογεννητριών/αιολικών πάρκων με τυπικές τιμές μεταξύ 60 και 70%, ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης, την ηλικία της και άλλους παράγοντες.

3.4.3.3. Αξιοπιστία των αιολικών συστημάτων

Επίδραση των εξελίξεων στο σχεδιασμό και την κατασκευή

Οι πρώτες γενιάς ανεμογεννήτριες που εγκαταστάθηκαν στην Καλιφόρνια στις αρχές της δεκαετίας του '80 αντιμετώπισαν πολλές αστοχίες (μερικές αρκετά θεαματικές), οι οποίες εν μέρει οφείλονταν στην ανεπαρκή κατανόηση της επίδρασης των δυνάμεων ρίπησης του ανέμου στον τρόπο αστοχίας λόγω κάμψης ή κόπωσης των δομικών συνιστωσών. Με τη σημαντικά βελτιωμένη γνώση της πραγματικής δομής των ριπών του ανέμου, την ανάπτυξη και διάδοση βελτιωμένων εργαλείων προσομοίωσης και σχεδίασης, τις βελτιωμένες τεχνικές κατασκευής και την εμπειρία από εκατομμύρια ώρες λειτουργίας, έχει βελτιωθεί εντυπωσιακά η αξιοπιστία των σημερινών Α/Γ.

Οι βελτιώσεις στην αξιοπιστία αφορούν όχι μόνο τις κύριες δομικές συνιστώσες, αλλά και τα υποσυστήματα υποστήριξης της Α/Γ, όπως είναι για παράδειγμα το σύστημα ελέγχου μέσω Η/Υ της Α/Γ, και τα συστήματα εκτροπής και μεταβολής του βήματος. Επίσης, βελτιώθηκαν τα προγράμματα διασφάλισης ποιότητας και επιθεώρησης των κατασκευαστών. Από την

άλλη, οι σχεδιαστές έχουν δώσει ιδιαίτερη προσοχή στην επισκευασιμότητα και τη συντηρησιμότητα των υποσυστημάτων των Α/Γ.

Εξάλλου, έχει επεκταθεί το διάστημα μεταξύ των σημαντικών γενικών επισκευών, για παράδειγμα από πέντε σε δέκα έτη ή/και περισσότερο. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης αυτών των βελτιώσεων και της τρέχουσας αξιοπιστίας, στους οποίους περιλαμβάνονται ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών για τις κύριες συνιστώσες και τα υποσυστήματα, ο μέσος χρόνος για επισκευή και το κόστος για την επιδιόρθωση μιας βλάβης. Ένα μέτρο της αξιοπιστίας ολόκληρου του συστήματος που χρησιμοποιείται συχνά είναι η διαθεσιμότητα.

Χαρακτηριστικά της παροχής ισχύος

Το σημαντικότερο τεχνικό χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από αιολικά συστήματα είναι η μεταβολή της μετοχρόνο, το οποίο απεικονίζει τη χρονική μεταβλητότητα του αιολικού πόρου. Στα επόμενα εξετάζονται το εύρος των χρονικών κλιμάκων και οι επιπτώσεις τους στην απόδοση του αιολικού συστήματος.

Συσχέτιση με το φορτίο

Ως γνωστόν, όλα τα ηλεκτρικά φορτία έχουν μία σημαντική προβλέψιμη συνιστώσα. Για παράδειγμα, η ωριαία ζήτηση κατά τη διάρκεια μιας θερινής ή χειμερινής ημέρας είναι αρκετά γνωστή, όπως είναι και η κατανομή της ζήτησης από μήνα σε μήνα. Οι ημερήσιες και μηνιαίες κατανομές του φορτίου μπορούν να συγκριθούν με την παρελθούσα ή την αναμενόμενη ηλεκτρική παραγωγή ενός αιολικού πάρκου. Κατά συνέπεια, άπαξ και υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ των χρονικών κατανομών του αιολικά παραγόμενου ηλεκτρισμού και της ζήτησης του φορτίου, στο αιολικό σύστημα μπορεί να αποδοθεί μία τιμή δυναμικού πέραν αυτής της ενέργειας.

Όσο πιο συσχετισμένες είναι αυτές οι κατανομές, τόσο πιο αξιόπιστα μπορεί να καλύψει μέρος του φορτίου η αιολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με το δυναμικό και τη διάρθρωση του κόστους των συμβατικών πηγών και με το βαθμό της αιολικής διείσδυσης, η αιολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι πιο ωφέλιμη και πολύτιμη απ' ό,τι διαφορετικά.

Παραγωγή μεμονωμένης Α/Γ και αιολικού πάρκου

Παρατηρείται μια σημαντική διαφορά στα βραχυπρόθεσμα (δευτερόλεπτα έως λεπτά) χρονικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ισχύος από μια μεμονωμένη Α/Γ σε σχέση με αυτά

ενός αιολικού πάρκου. Σ' ένα σημαντικό εύρος των ταχυτήτων λειτουργίας, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς μιας μεμονωμένης Α/Γ συμπίπτει άμεσα με τα χρονικά χαρακτηριστικά του πεδίου ροής του ανέμου που προσπίπτει σε αυτή. Η αδράνεια του δρομέα ομαλοποιεί τις διακυμάνσεις του ανέμου της τάξης του δευτερολέπτου ή λιγότερο, όμως οι συνιστώσες διακύμανσης του ανέμου με περιόδους μεγαλύτερες από αυτή μπορούν να αναπαραχθούν στην παραγόμενη ισχύ μιας μεμονωμένης Α/, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος ελέγχου της Α/Γ.

Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ μπορεί να συμβάλει στην εξομάλυνση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν οι ταχύτητες του ανέμου είναι αρκετά υψηλές ώστε, εν όψει των μεταβαλλόμενων ταχυτήτων εισροής του ανέμου, το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει την αποδοτικότητα των αεροδυναμικών πτερυγίων της Α/Γ έτσι ώστε να διατηρηθεί η ηλεκτρική παραγωγή σε μια σταθερή τιμή, ίση με την ονομαστική ισχύ της Α/Γ.

Από την άλλη, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ενός αιολικού πάρκου είναι συνήθως αρκετά πιο ομαλή σε σχέση με αυτήν μιας μεμονωμένης Α/Γ. Ο βαθμός εξομάλυνσης εξαρτάται από τη γεωγραφική έκταση του πάρκου, τη μέση ταχύτητα του ανέμου, τα χαρακτηριστικά ελέγχου των Α/Γ και, τέλος, από τις λεπτομέρειες του ανάγλυφου του εδάφους και από τον τρόπο που επηρεάζουν τη διανομή των ταχυτήτων του ανέμου μέσα στο αιολικό πάρκο. Η κύρια αιτία της εξομάλυνσης αυτής είναι ότι η δομή των ριπών του ανέμου, στο χώρο και το χρόνο, καθίσταται εν γένει όλο και περισσότερο ασυσχέτιστη σε αποστάσεις μεγαλύτερες από αρκετές διαμέτρους του δρομέα.

Σε σχέση με τις διακυμάνσεις μιας μεμονωμένης Α/Γ, η πλήρης έλλειψη συσχέτισης θα υποδήλωνε ότι οι διακυμάνσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του αιολικού πάρκου μειώνονται με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού των ασυσχέτιστων μηχανών της μονάδας που συμβάλλουν στην παραγωγή. Έτσι, μπορεί να εφαρμοστεί η ίδια αρχή εξομάλυνσης πεδίου της συγκεντρωτικής παραγωγής των αιολικών πάρκων.

Όπως και με τις Α/Γ σ' ένα μεμονωμένο αιολικό πάρκο, μια τέτοια εξομάλυνση θα μπορούσε να προκύψει ως αποτέλεσμα της έλλειψης συσχέτισης των διακυμάνσεων στα πεδία του ανέμου που προσπίπτουν στα κατανεμημένα αιολικά πάρκα.

Ποιότητα ισχύος

Καθόσον τα αιολικά πάρκα συχνά συνδέονται στο δίκτυο της εταιρείας ηλεκτρισμού, οι υπεύθυνοι προγραμματισμού και διαχείρισης του συστήματος της εταιρείας αυτής ενδιαφέρονται για τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Όπως

αναφέρθηκε ήδη, το σημαντικότερο από αυτά τα χαρακτηριστικά, τα οποία λαμβανόμενα ως σύνολο αναφέρονται ως "ποιότητα ισχύος", είναι η μεταβλητότητα με το χρόνο. Άλλες παράμετροι της ποιότητας ισχύος περιλαμβάνουν το συντελεστή ισχύος, την αρμονική παραμόρφωση, τις διακυμάνσεις της τάσης και τις αποκλίσεις της συχνότητας. Η σχετική τους βαρύτητα εξαρτάται από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο και την επιλογή των Α/Γ.

Οι πρώιμες Α/Γ με επαγωγικές γεννήτριες διέθεταν ανεπαρκή ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό αντιστάθμισης της άεργης ισχύος, με αποτέλεσμα οι εταιρείες ηλεκτρισμού να υφίστανται αυξημένες απώλειες μεταφοράς και δυσκολία ελέγχου της τάσης του συστήματος. Οι χειριστές των αιολικών μονάδων αναγκάστηκαν να βελτιώσουν την ποιότητα της παρεχόμενης στο δίκτυο ισχύος όταν οι εταιρείες ηλεκτρισμού άρχισαν να χρεώνουν για την υποστήριξη των υπέρμετρων VAr [άεργος ισχύς]. Οι εταιρείες απαιτούν πλέον οι μικροί παραγωγοί που χρησιμοποιούν επαγωγικές γεννήτριες να παρέχουν στο σημείο της διασύνδεσης συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα. Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας παρέχει ένα πλήρες φάσμα ελέγχου του συντελεστή ισχύος σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας, ακόμη και κατά τη διακοπή λειτουργίας της Α/Γ.

Οι αρμονικές είναι ανεπιθύμητες παραμορφώσεις της ημιτονοειδούς τάσης EP της εταιρείας ηλεκτρισμού και των κυματομορφών του ρεύματος, οι οποίες χρήζουν προσοχής λόγω της ζημιάς που μπορεί να προκληθεί τόσο στον εξοπλισμό διανομής της εταιρείας ηλεκτρισμού όσο και στις συσκευές των πελατών. Μερικές αιολικές εγκαταστάσεις πρώτης γενιάς χρησιμοποιούσαν παλαιότερα συστήματα αντιστροφής EP (διατάξεις γεφυρών 6-παλμικών θυρίστορ χωρίς εξωτερική διόρθωση αρμονικών ή φιλτράρισμα), με αποτέλεσμα την παραγωγή αρμονικών χαμηλότερης τάξης. Τα προηγμένα συστήματα αντιστροφών που διατίθενται σήμερα παράγουν ισχύ με πολύ μικρή αρμονική παραμόρφωση. Πλέον, με την προσθήκη διατάξεων διόρθωσης των αρμονικών και τη χρήση προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος στις Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας, οι αρμονικές δεν προκαλούν σημαντικά προβλήματα.

Όταν οι Α/Γ λειτουργούν, η παραγωγή ισχύος τους μεταβάλλεται από δευτερόλεπτο σε δευτερόλεπτο, ανάλογα με την ένταση και την τύρβη του ανέμου. Η επίδραση του πύργου, καθώς τα πτερύγια περιστρέφονται πίσω του, εισάγει επίσης μια περιοδική διαταραχή στην παραγόμενη ισχύ, που είναι μεγαλύτερη στις υψηλότερες ταχύτητες του ανέμου. Αυτές οι διακυμάνσεις της ισχύος προκαλούν μεταβολές της τάσης στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο, το λεγόμενο "τρεμόπαιγμα". Τα όρια στο τρεμόπαιγμα που μπορεί να προκαλέσει ο τυχόν συνδεδεμένος εξοπλισμός καθορίζονται από σχετικά πρότυπα που τίθενται ώστε να

αποφευχθεί η διαταραχή σε άλλους καταναλωτές. Το τρεμόπαιγμα είναι πιθανό να αποτελεί πρόβλημα μόνο στις μικρές ομάδες ή σε μεμονωμένες Α/Γ, ειδικά τις μεγάλες μηχανές που συνδέονται σε χαμηλότερες τάσεις.

Οι ρυθμιζόμενες με απώλεια στήριξης Α/Γ παράγουν λιγότερες διαταραχές από αυτές με μεταβολή του βήματος. Οι Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας έχουν πολύ μικρή επίδραση, ενώ αυτές με επαγωγικές γεννήτριες (συνηθέστερες) μπορούν επίσης κατά την εκκίνηση τους να προκαλέσουν διαταραχές. Αυτό αποτελεί κατά κανόνα πρόβλημα του παρελθόντος, καθώς στα περισσότερα μοντέλα εγκαθίστανται μονάδες "ήπιας εκκίνησης". Πάντως, πρέπει επίσης να εξετάζεται η απότομη μεταβολή της τάσης που θα εμφανιστεί όταν διακοπεί η λειτουργία της Α/Γ ενώ βρίσκεται σε πλήρη ισχύ, λόγω ισχυρών ανέμων. Συνήθως γίνεται αποδεκτό ότι, υπό κανονικές συνθήκες, είναι απίθανο να διακοπεί η λειτουργία περισσότερων της μίας ή δύο Α/Γ ταυτόχρονα.

Οι εταιρείες ηλεκτρισμού που χειρίζονται αιολικές μονάδες συνδεδεμένες σε ασθενή, απομονωμένα δίκτυα μπορεί να βρίσκουν δυσκολία στη διατήρηση της κανονικής συγνότητας του συστήματος, η οποία μεταβάλλεται όταν οι ριπές ανέμου προκαλούν την ταχεία αλλαγή της παραγόμενης ισχύος των αιολικών μονάδων. Αν και αυτό δεν αποτελεί συνήθως πρόβλημα στις περιοχές των αιολικών πάρκων, προκειμένου να διεισδύσει περισσότερη αιολική ενέργεια σε ένα σύστημα απαιτείται:

η χρήση σύγχρονων Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας με ηλεκτρονικό έλεγχο ισχύος και διασύνδεση με το δίκτυο (το ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος μπορεί να ελέγχεται ώστε να περιορίζει την παραγωγή ισχύος των Α/Γ κατά τις περιόδους ριπίζόντων ή ισχυρών ανέμων), ή/και αυτόματος έλεγχος της παραγωγής με επιπρόσθετη στρεφόμενη εφεδρεία.

3.5. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.5.1. Εισαγωγή

3.5.1.1. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη Γη. Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο, προσπίπτουν 1700 kWh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Το φως του ήλιου που φθάνει στην επιφάνεια

της γης αποτελείται κυρίως από δύο συνιστώσες, συγκεκριμένα το άμεσο φως και το έμμεσο ή διάχυτο φως, το οποίο είναι το φως που έχει διασκορπιστεί από τα μόρια της σκόνης και του νερού στην ατμόσφαιρα.

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες χρησιμοποιούν όχι μόνο την άμεση συνιστώσα του φωτός αλλά παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και με νεφοσκεπή ουρανό. Συνεπώς, αποτελεί παρεξήγηση ότι τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν μόνο με απόλυτη ηλιοφάνεια, οπότε δεν είναι κατάλληλα για χρήση σε εύκρατα κλίματα. Αυτό δεν ισχύει, αφού τα Φ/Β χρησιμοποιούν τόσο τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία όσο και το άμεσο φως του ήλιου. Για να προσδιοριστεί το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής ενός Φ/Β σε μια συγκεκριμένη θέση, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η μέση συνολική ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους, αντί να γίνεται αναφορά στη στιγμιαία ακτινοβολία.

Μέσω των Φ/Β κυψελών, η ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μια κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα (ΣΡ) και, θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί. Πάντως, δεν μπορεί να μετατραπεί όλο το φως σε ηλεκτρισμό, καθώς οι Φ/Β κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας κείται στην υπέρυθρη – ή θερμή - και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικότητας μετατροπής (20-30%). Πρακτικές ατέλειες, π.χ. ανομοιογένειες, μπορούν να μειώσουν ακόμα περαιτέρω την απόδοση μιας Φ/Β κυψέλης.

Το ποσό της ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα Φ/Β στοιχείο σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει επάνω στην επιφάνεια μετατροπής. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος, τόσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής. Για παράδειγμα, οι τροπικοί προσφέρουν έναν καλύτερο πόρο για παραγωγή ηλεκτρισμού από αυτόν που είναι διαθέσιμος σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Εξάλλου, είναι προφανές ότι ένα Φ/Β σύστημα δεν παράγει ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ είναι σημαντικό να μην σκιάζονται τα στοιχεία. Εάν απαιτείται ηλεκτρισμός πέρα από τις ώρες που υφίσταται το φως της ημέρας, ή εάν αναμένονται εκτεταμένες περιόδους κακοκαιρίας, είναι απαραίτητο κάποιο είδος συστήματος αποθήκευσης.

Προκειμένου να αποληφθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια, η Φ/Β κυψέλη πρέπει να προσανατολίζεται προς τον ήλιο. Εάν οι κυψέλες έχουν σταθερή θέση, πρέπει να βελτιστοποιηθεί ο προσανατολισμός τους ως προς το νότο και η γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης κυμαίνεται σε ένα εύρος περίπου 15° του

γεωγραφικού πλάτους της θέσης. Για παράδειγμα, η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα στη Δυτική Ευρώπη είναι περίπου 35° . Για περιοχές πλησιέστερα στον ισημερινό αυτή η γωνία κλίσης θα είναι μικρότερη, ενώ για περιοχές πλησιέστερα στους πόλους θα είναι μεγαλύτερη.

Μια απόκλιση της γωνίας κλίσης κατά 30 μοίρες από τη βέλτιστη γωνία θα οδηγήσει σε απώλειες μικρότερες από το 10% της μέγιστης παραγωγής. Τα Φ/Β στοιχεία είναι στην πραγματικότητα πιο αποδοτικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, οπότε για να εξασφαλιστεί ότι δεν υπερθερμαίνονται, είναι σημαντικό να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται στον αέρα να κινείται ελεύθερα γύρω από αυτά. Αυτό αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική θεώρηση σε τοποθεσίες που το μεσημέρι είθισται να εμφανίζονται εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες. Οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας ενός Φ/Β είναι οι σχετικά ψυχρές, φωτεινές και ηλιόλουστες ημέρες.

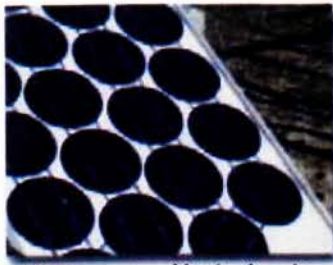
3.5.2. Ηλιακές κυψέλες

Οι ηλιακές κυψέλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, είτε έμμεσα με αρχική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Οι πιο κοινές μορφές των ηλιακών κυψελών βασίζονται στο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο, κατά το οποίο το φως προσπίπτοντας σε μία ημιαγωγική διάταξη δύο στρωμάτων παράγει μία φωτοτάση ή διαφορά δυναμικού μεταξύ των στρωμάτων. Αυτή η τάση είναι ικανή να οδηγήσει ένα ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο ωφέλιμο έργο.

3.5.2.1. Μέθοδος παραγωγής ηλιακών κυψελών

Οι κυψέλες πυριτίου κατασκευάζονται με τη χρήση μονοκρυσταλλικών ή πολυκρυσταλλικών δισκίων ή λεπτών μεμβρανών. Τα μονοκρυσταλλικά δισκία κόβονται σε φέτες (πάχους περίπου 1/3 έως 1/2 mm) από μια μεγάλη μονοκρυσταλλική ράβδο που έχει

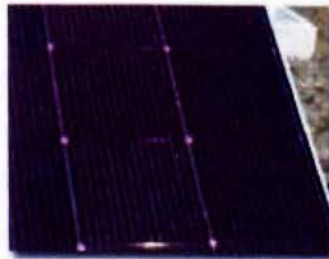
θερμανθεί περίπου σε 1400°C , η οποία είναι μια πολύ δαπανηρή διεργασία. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει μια σχεδόν τέλεια κρυσταλλική δομή (βλ. σχήμα 3.28.α). Τα πολυκρυσταλλικά δισκία κατασκευάζονται με μια διεργασία χύτευσης, κατά την οποία λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε ένα καλούπι και αφήνεται να στερεοποιηθεί. Κατόπιν τεμαχίζεται σε δισκία (σχήμα 3.28.β).



α) Μονοκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες σε πλαίσιο



β) Πολυκρυσταλλικό ηλιακό πλαίσιο



γ) Ηλιακό πλαίσιο άμορφου πυριτίου

Σχήμα 3.28. Ηλιακά πλαίσια

Καθόσον τα πολυκρυσταλλικά δισκία κατασκευάζονται με χύτευση, η παραγωγή τους είναι αρκετά φθηνότερη, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο τα μονοκρυσταλλικά, λόγω ατελειών στην κρυσταλλική δομή που οφείλονται στη διεργασία της χύτευσης. Σχεδόν το ήμισυ του πυριτίου χάνεται ως σκόνη κοπής σ' αυτές τις δύο διεργασίες. Το άμορφο πυρίτιο, μία από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης, παράγεται με την εναπόθεση πυριτίου από ένα αέριο αντιδραστήριο, όπως το σιλάνιο (Si-U), επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.28.γ.

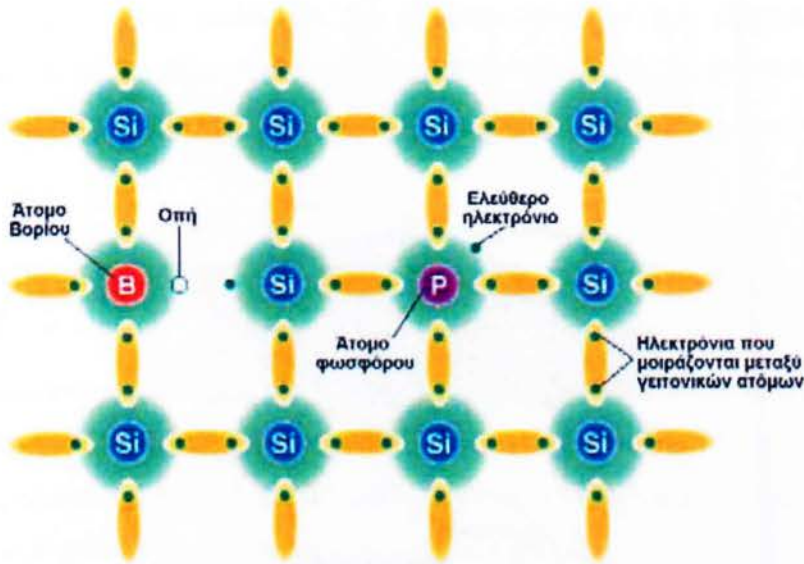
Ο τύπος ηλιακής κυψέλης υπό μορφή λεπτής μεμβράνης μπορεί να εφαρμοστεί ως μεμβράνη σε χαμηλού κόστους υποστρώματα, π.χ. γυαλί ή πλαστικό. Οι υπόλοιπες τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης περιλαμβάνουν το λεπτό πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, κυψέλες δισεληνιούχου ινδικού χαλκού / θειούχου καδμίου, τελλουριούχου καδμίου / θειούχου καδμίου και

αρσενιούχου γαλλίου. Οι κυψέλες αυτού του είδους διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η ευκολότερη απόθεση και συναρμολόγηση, η ικανότητα να εναποτίθενται επάνω σε φθηνά υποστρώματα ή υλικά οικοδομών, η ευκολία για μαζική παραγωγή, και η καταλληλότητα τους σε μεγάλες εφαρμογές.

Κατά την παραγωγή των ηλιακών κυψελών το πυρίτιο περιέχει άτομα πρόσμιξης τα οποία εισάγονται έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια περιοχή p-τύπου και μία n-τύπου, οπότε εμφανίζεται μια επαφή p-n. Η πρόσμιξη αυτή μπορεί να επιτευχθεί με διάχυση υπό υψηλή θερμοκρασία, κατά την οποία τα δισκία τοποθετούνται σε ένα φούρνο και το υλικό πρόσμιξης εισάγεται ως ατμός (υπάρχουν πολλές άλλες μέθοδοι πρόσμιξης του πυριτίου). Στην κατασκευή μερικών διατάξεων λεπτής μεμβράνης η εισαγωγή των προσμίξεων μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης των μεμβρανών ή των στρώσεων.

Ένα άτομο πυριτίου έχει 4 σχετικά αδύναμαδέσματα ηλεκτρόνια (σθένους), τα οποία συνδέονται με γειτονικά άτομα. Εάν αντικατασταθεί ένα άτομο πυριτίου με ένα άτομο που έχει 3 ή 5 ηλεκτρόνια σθένους, θα παραχθεί με τον τρόπο αυτό είτε ένας χώρος χωρίς κανένα ηλεκτρόνιο (μια οπή), είτε ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο που μπορεί να κινείται πιο ελεύθερα από τα άλλα. Αυτό αποτελεί τη βάση της πρόσμιξης. Κατά τη πρόσμιξη p-τύπου η δημιουργία πλεοναζόντων οπών επιτυγχάνεται με ενσωμάτωση στο πυρίτιο ατόμων με 3 ηλεκτρόνια σθένους, συνήθως βορίου, ενώ στην πρόσμιξη n-τύπου η δημιουργία πρόσθετων ηλεκτρονίων επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός ατόμου με 5 ηλεκτρόνια σθένους, συχνότερα φωσφόρου (σχήμα 3.29).

Από τη στιγμή που δημιουργείται μια επαφή p-n, κατασκευάζονται ηλεκτρικές επαφές στην εμπρόσθια και την οπίσθια επιφάνεια της κυψέλης με εξάτμιση ή επιφανειακή εκτύπωση μετάλλου επάνω στο δισκίο. Το οπίσθιο μέρος αυτού μπορεί να καλυφθεί πλήρως από μέταλλο, αλλά το εμπρόσθιο πρέπει να έχει κάποια δομήπλέγματος ή λεπτές γραμμές μετάλλου, ειδάλλως το μέταλλο θα εμπόδιζε τον ήλιο να φθάσει στο πυρίτιο και δεν θα προέκυπτε οιαδήποτε παραγωγή από τα προσπίπτοντα φωτόνια.

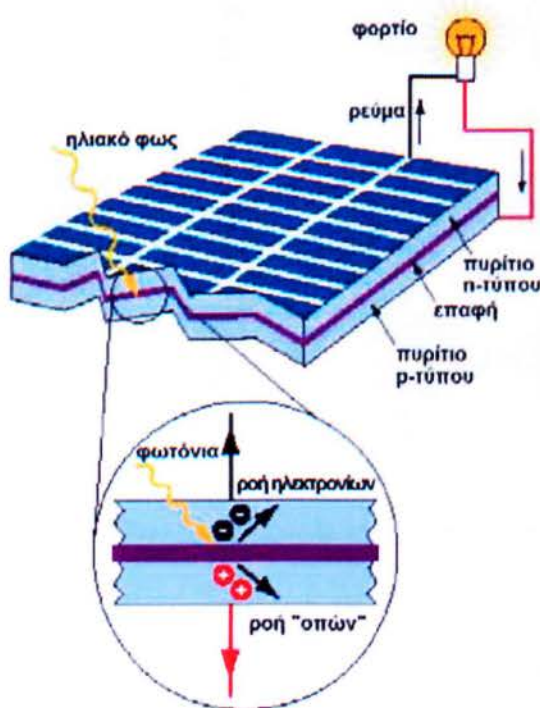


Σχήμα 3.29. Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομο πρόσμιξης

3.5.2.2. Λειτουργία των ηλιακών κυψελών

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία μιας Φ/Β κυψέλης, πρέπει να κατανοηθεί η φύση τόσο του υλικού όσο και του ηλιακού φωτός. Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, συνήθως πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία ("οπές") από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή.

Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα, όπως αυτό του σχήματος 3.30, είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.



Σχήμα 3.30. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια Φ/Β συσκευή καθορίζεται από:

- τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού,
- την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία), και
- το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης.

Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή, και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10% περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου

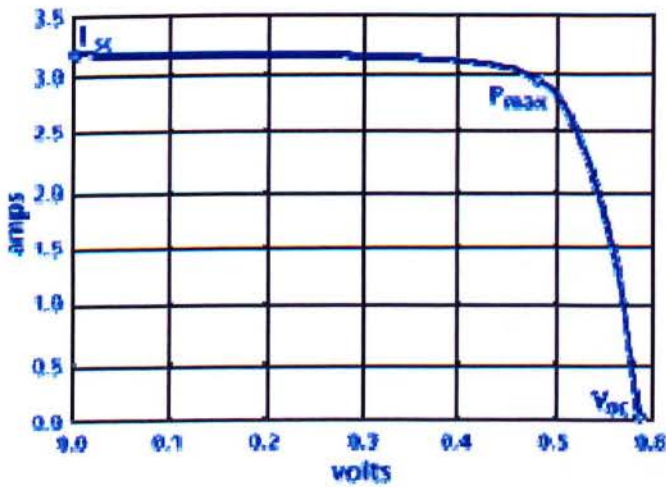
Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα:

- Θερμοκρασία = 25°C ,
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας = 1000 W/m^2 ,
- Αέρια μάζα = AM 1,5.

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με 1.

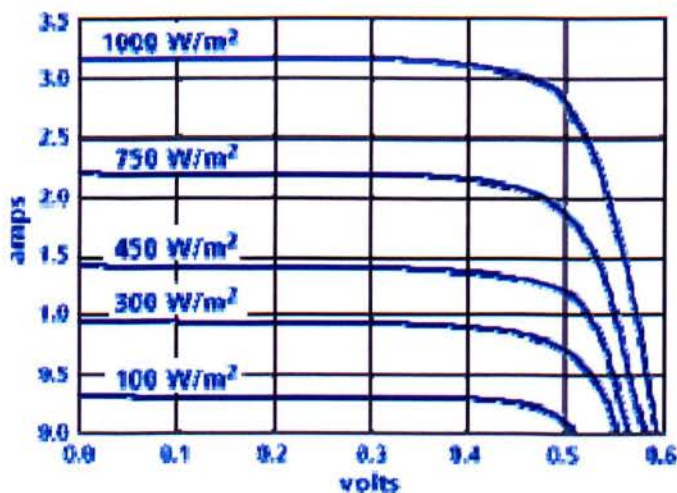
Η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την τάση, και η σχέση αυτή απεικονίζεται στην καμπύλη I-V της κυψέλης. Αυτή χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόδοση της κυψέλης και για τη σύγκριση μεταξύ τους κυψελών υπό ορισμένες συνθήκες. Στο σχήμα 3.31 παρουσιάζεται η καμπύλη I-V μίας κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου στις ΠΣΔ. Παρατηρείται ότι, αριστερά του γόνατος της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ στα δεξιά μεταβάλλεται σημαντικά με μικρές μεταβολές αυτής. Γι' αυτόν τον τύπο κυψέλης εν γένει ισχύουν:

- I_{sc} (ρεύμα βραχυκυκλώματος) = $3,36 \text{ A}$,
- V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος) = $0,6 \text{ V}$,
- P_{max} (σημείο μέγιστης ισχύος) = $1,5 \text{ W}$,
- I_{max} (ρεύμα στο P_{max}) = 3 A ,
- V_{max} (τάση στο P_{max}) = $0,5 \text{ V}$.



Σχήμα 3.31. Η καμπύλη I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου σε ΠΣΔ

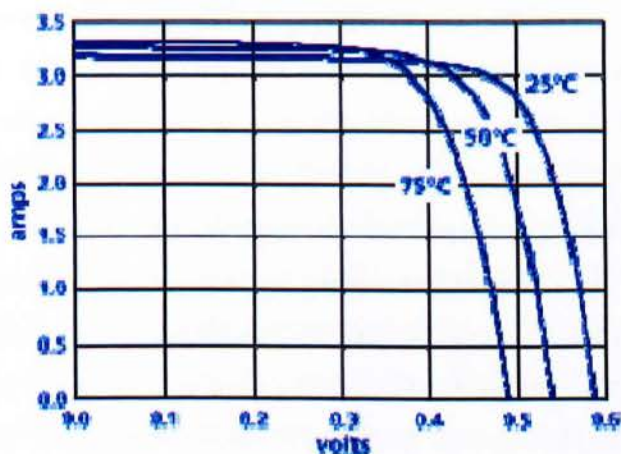
Η παραγόμενη ισχύς από την κυψέλη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του ηλιακού φωτός (για παράδειγμα, εάν υποδιπλασιαστεί η ένταση του ηλιακού φωτός θα υποδιπλασιαστεί και η παραγόμενη ισχύς). Ένα σημαντικό γνωρισμάτων Φ/Β κυψελών είναι ότι η τάση της κυψέλης δεν εξαρτάται από το μέγεθος της, και παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της έντασης του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογο προς την ένταση του φωτός και το μέγεθος της. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.32.



Σχήμα 3.32. Παραγωγή ρεύματος και τάσης μιας ηλιακής κυψέλης υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός.

Η παραγόμενη από μια ηλιακή κυψέλη ισχύς μπορεί να αυξηθεί αρκετά με τη χρήση ενός μηχανισμού παρακολούθησης της τροχιάς που να διατηρεί τη Φ/Β διάταξη απευθείας κάθετη

προς τις ακτίνες του ήλιου, ή συγκεντρώνοντας το φως του ήλιου με τη βοήθεια φακών ή κατόπτρων. Εντούτοις, υπάρχουν όρια στη διαδικασία αυτή, λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών και της αναγκαίας ψύξης των κυψελών. Η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή σε υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά η τάση μειώνεται (κατά 0,0023 Volts περίπου για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου), προκαλώντας έτσι τη μείωση της ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το σχήμα 3.33 απεικονίζει τα χαρακτηριστικά μιας κυψέλης σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (οι άλλες συνθήκες παραμένουν ίδιες).



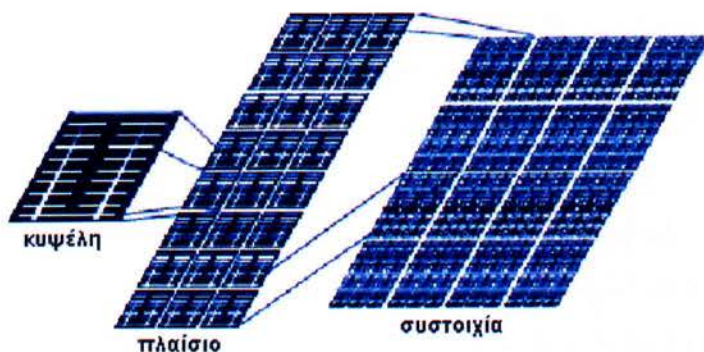
Σχήμα 3.33. Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.

3.5.3. Φ/B πλαίσια (Συστοιχία)

Ο όρος "συστοιχία" αναφέρεται συνήθως στις συνιστώσες που εξετάζονται σε αυτό το χωρίο, συγκεκριμένα αφορά όλα τα πλαίσια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, την καλωδίωση και τις διόδους τους, καθώς και τη βάση της συστοιχίας.

3.5.3.1. Συνιστώσες μιας Φ/B συστοιχίας

Οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε πλαίσια και τα πλαίσια συναθροίζονται για να διαμορφώσουν μια συστοιχία, όπως αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.34. Ανάλογα με την εφαρμογή, η συστοιχία μπορεί να αποτελείται από μία κυψέλη, ένα πλαίσιο, ή πολλά πλαίσια.



Σχήμα 3.34. Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας

Η κυψέλη

Μια τυπική ηλιακή κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχει βαθύ μπλε χρώμα και ζυγίζει λιγότερο από 10 gr. Το μήκος και το πλάτος της είναι περίπου 10cm, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Η μεμονωμένη κυψέλη παράγει, υπό βέλτιστες συνθήκες, κατά προσέγγιση 1,5 Watts στα 0,5 Volts. Από μόνο του αυτό δεν είναι πολύ χρήσιμο για τις περισσότερες ηλεκτρικές εφαρμογές. Προκειμένου να παραχθεί ωφέλιμη ισχύς, οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, ενώ μερικές φορές κόβονται σε μικρότερα τεμάχια.

Η κοπή των κυψελών γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι για την αύξηση της τάσης. Εάν απαιτείται μόνο λίγο ρεύμα σε υψηλή τάση, τότε κόβοντας τις κυψέλες στη μέση και με την καλωδίωση τους σε σειρά μπορεί να δημιουργηθεί ένα μικρό πλαίσιο. Κάθε κομμάτι θα παράγει την ίδια τάση με ολόκληρη την κυψέλη, αλλά με λιγότερο ρεύμα (για παράδειγμα, εάν μια κυψέλη κοπεί στη μέση, το κάθε ήμισυ θα παράγει περίπου 0,5 Volts και 1,5 Amps). Ο άλλος λόγος για την κοπή των κυψελών είναι για την αύξηση της πυκνότητας συσκευασίας τους.

Οι κυψέλες με εγκοπές δημιουργούν μη ωφέλιμη επιφάνεια στις γωνίες τους και αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί κόβοντας τις κυψέλες σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα. Το ίδιο γίνεται μερικές φορές και σε εφαρμογές όπου είναι κρίσιμες οι επιδόσεις και ο χώρος περιορισμένος. Τα μειονεκτήματα της κοπής των κυψελών είναι ότι με αυτή τη διεργασία συχνά σπαταλούνται τμήματα της κυψέλης, ενώ είναι ιδιαίτερα πιθανό ένα ποσοστό κυψελών να

υποστεί βλάβη κατά την κοπή. Ο κατασκευαστής μπορεί να παρέχει δεδομένα για τις ακριβείς διαστάσεις και ανοχές συγκεκριμένων κυψελών του. Κατά τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού της κυψέλης είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι μερικές κυψέλες έχουν γωνίες με εγκοπές.

Συνδεσμολογία

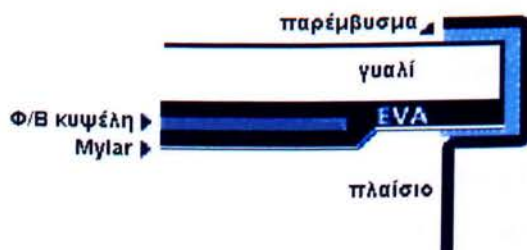
Οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να συστήσουν μια συνδεσμολογία, όπως συχνά ονομάζεται αυτή η διάταξη. Οι κυψέλες διασυνδέονται με συγκόλληση των ακροδεκτών τους από την κορυφή της μίας στη βάση της επόμενης. Αυτό γίνεται εν γένει εργοστασιακά με ειδικές μηχανές. Είναι σημαντικό να μην υφίστανται φθορές οι κυψέλες κατά τη διεργασία, να είναι ανθεκτικές οι συνδέσεις, και να διατηρείται το κατάλληλο διάστημα μεταξύ των κυψελών. Εάν οι κυψέλες ακουμπούν μεταξύ τους μπορεί να προκύψουν προβλήματα ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων καθώς επίσης και προβλήματα σκίασης, ενώ αυξάνεται η πιθανότητα ραγίσματός τους. Τα υπερβολικά μεγάλα κενά μεταξύ των κυψελών σπαταλούν πολύτιμη επιφάνεια.

Πλαίσιο

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται συνήθως σε σειρά, διαμορφώνοντας ένα σύνολο που ονομάζεται πλαίσιο. Το Φ/Β πλαίσιο εν γένει αποτελεί τη μικρότερη αυτοτελή μονάδα σε μια συστοιχία, καθώς είναι μία ομάδα κυψελών που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και στη συνέχεια τοποθετηθεί σε ένα κέλυφος ως αυτόνομη μονάδα. Ο αριθμός των κυψελών ενός πλαισίου καθορίζεται συνήθως από τις ανάγκες τάσης του συστήματος και οι περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλαίσια τα οποία διαστασιολογούνται σύμφωνα με τις τάσεις των χρησιμοποιούμενων μπαταριών. Ένα τυπικό πλαίσιο για φόρτιση μιας μπαταρίας 12 Volt έχει 33 έως 36 κυψέλες (πρέπει να παρέχει πάνω από 12 Volt για να φορτίσει τη μπαταρία). Σημειώνεται ότι η λέξη πλαίσιο μπορεί να αναφέρεται είτε σε ένα μόνο πλαίσιο είτε σε ένα σύνολο πλαισίων.

Ενθυλάκωση

Οι ηλιακές κυψέλες χρειάζονται προστασία και υποστήριξη. Για το λόγο αυτό σχεδόν πάντα τοποθετούνται σε κέλυφος, με κάποιο τρόπο που να τις προστατεύει και να τις μονώνει ηλεκτρικά. Στο σχήμα 3.35 παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός τυπικού πλαισίου που χρησιμοποιείται σε οικιακές ή απομονωμένες εφαρμογές, ή σε Φ/Β σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Τα περισσότερα πλαίσια ενθυλακώνονται σε κάποιο πολυμερές υλικό, όπως ο οξικός εστέρας αιθυλενίου-βινυλίου (EVA), το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται



Σχήμα 3.35. Τομή ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πλαισίου

μεταξύ γυαλιού στην επάνω επιφάνεια και Mylar ή Tedlar στην κάτω. Οι ακμές σφραγίζονται με ένα στεγανωτικό παρέμβυσμα και υποστηρίζονται από ένα πλαίσιο. Έχουν γίνει επίσης κατασκευές από εύκαμπτα ελάσματα.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες που εξετάζονται κατά την επιλογή των υλικών για την ενθυλάκωση, με τη σημασία τους να εξαρτάται από την εφαρμογή. Τα πιο σημαντικά από τα χαρακτηριστικά της ενθυλάκωσης είναι τα εξής:

- *Ηλεκτρική ειδική αντίσταση*

Το υλικό πρέπει να είναι ηλεκτρικός μονωτής. Είναι σημαντικό να απομονωθεί η τάση της συστοιχίας και να προστατεύεται η συστοιχία από οιοσδήποτε εξωτερικές τάσεις.

- *Μετάδοση του φωτός*

Ιδανικά, η ενθυλάκωση δεν πρέπει να εμποδίζει το φως να προσεγγίσει τις κυψέλες.

- *Μετάδοση της θερμότητας*

Οι ηλιακές κυψέλες είναι αποδοτικότερες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι χρήσιμα υπάρχει, εάν είναι δυνατό, ένα υλικό ενθυλάκωσης με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση της θερμότητας από τις κυψέλες.

- *Θερμική διαστολή*

Σε μερικές θέσεις η θερμοκρασία του πλαισίου είναι αρκετά χαμηλότερη του σημείου πήξης το χειμώνα και αρκετά επάνω από τους 40°C το καλοκαίρι. Είναι, επομένως, σημαντικό η ενθυλάκωση να μην συστέλλεται ή διαστέλλεται σημαντικά λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών.

- *Βάρος*

Για μερικές εφαρμογές, το βάρος αποτελεί έναν από τους παράγοντες επιλογής του υλικού ενθυλάκωσης.

- *Ανθεκτικότητα*

Πολλά πλαίσια τοποθετούνται σε εξωτερικό χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και υπόκεινται σε ανέμους, βροχές, ήλιο, χαλάζι, και χιόνια. Αυτά όμως αναμένεται να λειτουργήσουν για είκοσι τουλάχιστον έτη, οπότε το υλικό ενθυλάκωσης πρέπει να είναι ικανό να αντεπεξέλθει σε αυτές τις συνθήκες χωρίς σημαντικό βαθμό φθοράς.

Δίοδοι

Οι ηλιακές συστοιχίες μερικές φορές διαθέτουν διόδους φραγής και παράκαμψης. Αυτές είναι μικρές συσκευές που περιορίζουν την κατεύθυνση της ροής του ρεύματος και αναλύονται περαιτέρω στο σχετικό με τη λειτουργία των συστοιχιών χωρίο.

Συστήματα έδρασης / παρακολούθησης

Μερικές συσκευές, όπως τα ηλιακά ρολόγια ή οι υπολογιστές χειρός, ενσωματώνουν την ηλιακή κυψέλη στην ίδια τη συσκευή. Με τις πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά των ηλιακών κυψελών, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως υλικά κατασκευής της στέγης των κτιρίων. Εντούτοις, οι περισσότερες εφαρμογές των Φ/Β χρειάζονται κάποια βάση για την υποστήριξη και τοποθέτηση τους. Οι βάσεις αυτές μπορεί να είναι από απλές κατασκευές για

τη συγκράτηση ενός πλαισίου σε μια στέγη (πιθανώς με μόνιμη κλίση υπό κάποια γωνία), μέχρι σύνθετες διατάξεις παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου σε δύο άξονες. Η πολυπλοκότητα της βάσης στήριξης καθορίζεται από τις ανάγκες του συστήματος και το διαθέσιμο κεφάλαιο. Περαιτέρω πληροφορίες παρατίθενται στο χωρίο για τη λειτουργία των συστοιχιών.

3.5.3.2. Λειτουργία των Φ/Β συστοιχιών

Γενικά, ένα Φ/Β πλαίσιο ή μια συστοιχία επηρεάζεται από το περιβάλλον με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζεται και μία Φ/Β κυψέλη. Η τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και το ρεύμα αυξάνεται καθώς αυξάνεται η έκθεση στις ηλιακές ακτίνες.

Σύνδεση εν σειρά

Όταν ηλιακές κυψέλες (ή πλαίσια) συνδέονται εν σειρά, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος της συνδεσμολογίας με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια. Αυτό προϋποθέτει ότι οι συνθήκες λειτουργίας για τις κυψέλες είναι οι ίδιες και ότι οι κυψέλες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V.

- *Ρεύμα*

Το ρεύμα σε μία εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι το ίδιο σε κάθε σημείο της συνδεσμολογίας, ίδιο με αυτό που παράγεται από μία κυψέλη. Εάν μία κυψέλη με χαρακτηριστικά χαμηλού ρεύματος συνδεθεί σε μια συνδεσμολογία με άλλες κυψέλες που έχουν χαρακτηριστικά υψηλότερου ρεύματος, η συνδεσμολογία θα περιοριστεί στο ρεύμα της κυψέλης χαμηλού ρεύματος.

$$I_{\text{σειράς}} = (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.8)$$

- *Τάση*

Η τάση σε μία συνδεσμολογία κυψελών είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας όμοιες κυψέλες, η τάση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$V_{\text{σειράς}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.9)$$

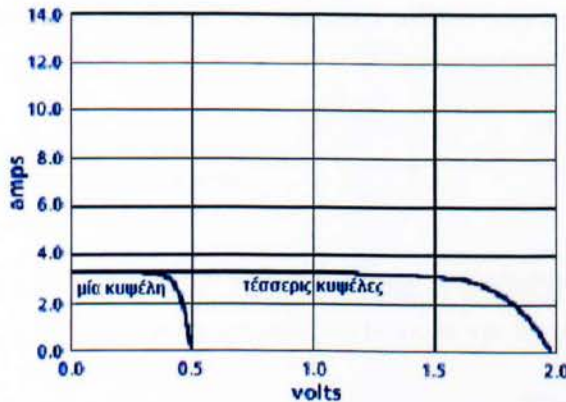
• *Ισχύς*

Η παραγόμενη ισχύς από μία συνδεσμολογία κυψελών ισούται με το ρεύματης συνδεσμολογίας - σχέση (3.8) - πολλαπλασιαζόμενο με την τάση της σχέσης (3.9):

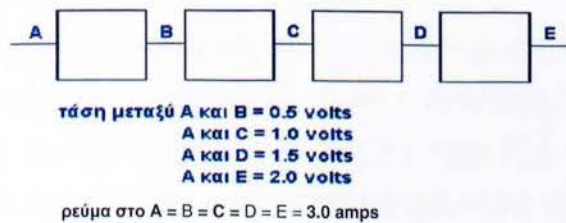
$$P_{\text{σειράς}} = I_{\text{ααίς}} V_{\text{ααίς}} \Rightarrow$$

$$P_{\text{σειράς}} = (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) (\text{Αριθμός κυψελών}) (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης})$$

Σημειώνεται ότι, μπορεί οι μεμονωμένες κυψέλες να λειτουργούν σε διαφορετικές τάσεις, αλλά κάθε μία κυψέλη θα λειτουργεί με το ίδιο ρεύμα όπως και οι άλλες στη συνδεσμολογία. Το σχήμα 3.36 παρουσιάζει το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της εν σειρά συνδεσμολογίας. Στο σχήμα 3.37 παρουσιάζεται μία εν σειρά συνδεσμολογία από τέσσερις κυψέλες και τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος αυτών.



Σχήμα 3.36. Τυπικές καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά



Σχήμα 3.37. Τέσσερις ηλιακές κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά

Σύνδεση εν παραλλήλω

Εάν οι κυψέλες (ή τα πλαίσια) συνδεθούν παράλληλα, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση του ρεύματος, της τάσης και της ισχύος τους με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια, υποθέτοντας και πάλι ότι οι συνθήκες λειτουργίας είναι οι ίδιες και ότι οι κυψέλες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V.

- *Ρεύμα*

Το παραγόμενο ρεύμα από μια ομάδα κυψελών συνδεδεμένων παράλληλα ισούται με το αθροισμάτων μεμονωμένων ρευμάτων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας παρόμοιες κυψέλες, το ρεύμα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$I_{\text{παράλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.10)$$

- *Τάση*

Η τάση μεταξύ δύο κόμβων μιας ομάδας κυψελών συνδεδεμένων εν παραλλήλω είναι ίση με την τάση κάθε κυψέλης:

$$V_{\text{παράλληλα}} = (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.11)$$

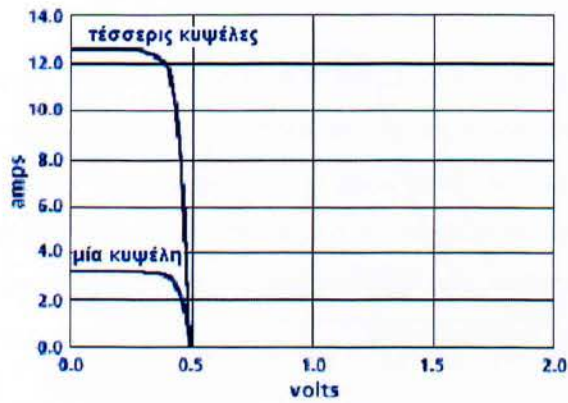
- *Ισχύς*

Η παραγόμενη ισχύς από κυψέλες εν παραλλήλω είναι ίση με το παράλληλο ρεύμα -εξίσωση (3.10) - πολλαπλασιασμένο με την παράλληλη τάση της εξίσωσης (3.11):

$$P_{\text{παράλληλα}} = I_{\text{παράλληλα}} V_{\text{παράλληλα}} \Rightarrow$$

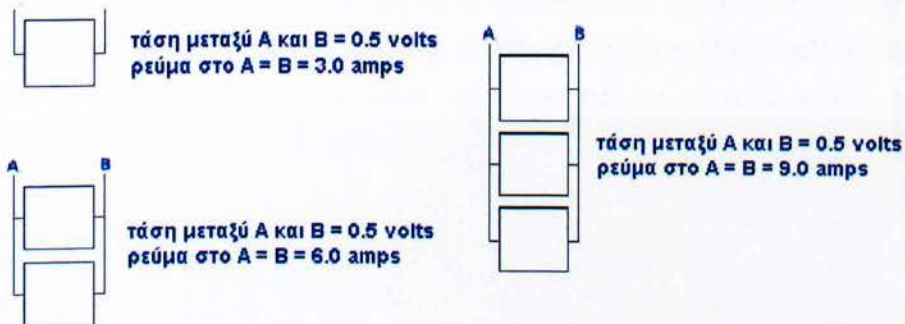
$$P_{\text{παράλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) (I_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) (V_{\text{max}} \text{ μίας κυψέλης}) \quad (3.12)$$

Σημειώνεται ότι, όταν μια ομάδα κυψελών συνδέεται παράλληλα, οι μεμονωμένες κυψέλες μπορεί να παράγουν διαφορετικά ρεύματα, αλλά κάθε κυψέλη θα λειτουργεί στην ίδια τάση. Στο παρακάτω σχήμα 3.38 παρουσιάζεται το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της ομάδας των κυψελών εν παραλλήλω. Στο σχήμα 3.39 απεικονίζονται ομάδες κυψελών εν παραλλήλω και τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος αυτών.



Σχήμα 3.38. Καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα

Λ (3)



Σχήμα 3.39. Μία, δύο, και τρεις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα

Δίοδοι

- Δίοδοι παράκαμψης

Οι δίοδοι παράκαμψης χρησιμοποιούνται για την προστασία των συνδεσμολογιών εν σειρά των κυψελών. Εν γένει, ένα πλαίσιο προσφέρεται από τον κατασκευαστή με ενσωματωμένη μια δίοδο παράκαμψης, η οποία συνδέεται παράλληλα με ολόκληρο το πλαίσιο. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, η δίοδος δεν κάνει τίποτα εκτός από το να καταναλώνει μία ελάχιστη ποσότητα ισχύος. Εάν σκιαστεί ή υποστεί βλάβη μέρος του πλαισίου, η δίοδος παράκαμψης εκτρέπει το ρεύμα μέσω αυτής και γύρω από το πλαίσιο. Χωρίς τη δίοδο, το πλαίσιο που σκιάζεται ή έχει υποστεί βλάβη διαχέει το ρεύμανπό μορφή θερμότητας και τελικά καταστρέφεται.

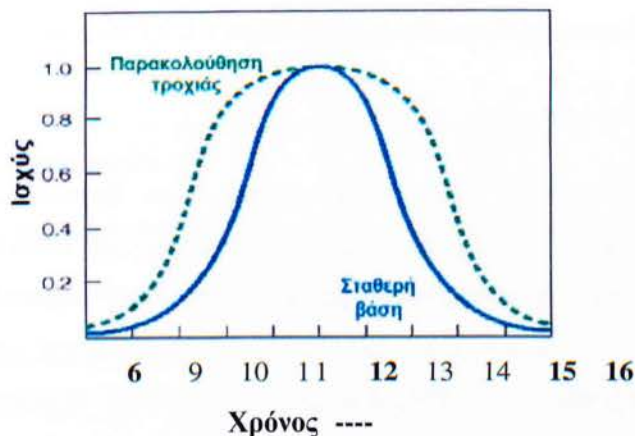
- *Δίοδοι φραγής*

Οι δίοδοι φραγής εγκαθίστανται για να αποτρέψουν την αντιστροφή της ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια. Μια δίοδος φραγής συνδέεται συνήθως εν σειρά μεταξύ της συστοιχίας και των μπαταριών. Αντ' αυτού, εάν ένας αριθμός συνδεσμολογιών συνδέονται εν σειρά, οι δίοδοι φραγής μπορούν να συνδεθούν εν σειρά με κάθε μία συνδεσμολογία. Ενίοτε ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στα Φ/Β συστήματα για τη ρύθμιση της ισχύος εξαλείφει την ανάγκη προσθήκης μιας διόδου φραγής.

Παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου

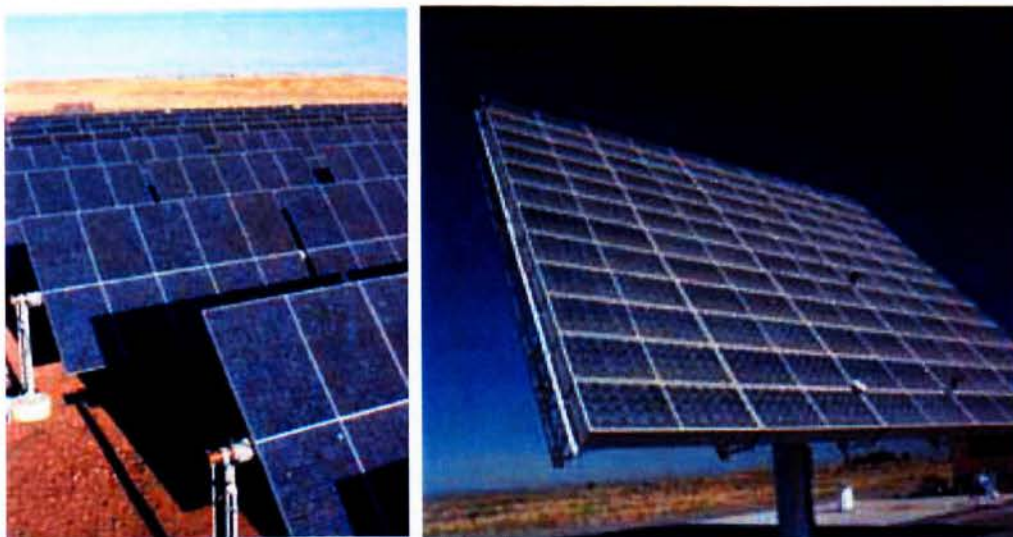
Ένα πλαίσιο το οποίο φέρεται κάθετα στις ακτίνες του ήλιου λαμβάνει περισσότερο φως από ένα άλλο που δεν είναι προσανατολισμένο προς τον ήλιο. Η πορεία του ήλιου στον ουρανό αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με την ημέρα του έτους. Αυτό σημαίνει ότι, για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας, πρέπει να είναι σε θέση να περιστραφεί για να ακολουθήσει την τροχιά του ήλιου. Τα σταθερά πλαίσια τοποθετούνται ώστε να αντικρίζουν τον ισημερινό υπό μια ορισμένη γωνία και δεν κινούνται. Αν και τα πλαίσια αυτά δεν μπορούν να παράγουν τόση ισχύ όση τα πλαίσια με παρακολούθηση της τροχιάς, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πιο οικονομικά και συντηρούνται ευκολότερα. Η πλειοψηφία των πλαισίων είναι σταθερά.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα σταθερά πλαίσια ρυθμίζονται χειροκίνητα. Αυτό μπορεί να γίνει μερικές φορές το χρόνο ώστε να ληφθούν υπόψη οι εποχιακές αλλαγές της πορείας του ήλιου ή, ενίοτε, μερικές φορές την ημέρα. Με τη χειροκίνητη ρύθμιση των πλαισίων μπορεί να αποληφθεί ένα σημαντικό μέρος του φωτός που θα συλλεγόταν μέσω ενός συστήματος παρακολούθησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν σχεδόν να διπλασιάσουν την παραγωγή μιας συστοιχίας (σχήμα 3.40), ενίοτε όμως απαιτείται προσεκτική ανάλυση για να προσδιοριστεί εάν το αυξημένο κόστος και η μηχανική πολυπλοκότητα της χρήσης ενός τροchioδεικτικού συστήματος είναι συμφέρουσα.



Σχήμα 3.40. Παραγόμενη ισχύς από μία συστοιχία με και χωρίς σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου

Στην παρακολούθηση τροχιάς μονού άξονα τα πλαίσια κινούνται κατά μήκος ενός άξονα για να ακολουθούν την πορεία του ήλιου (σχ. 3.41 - αριστερά). Σχεδόν πάντα ακολουθείται η



Σχήμα 3.41. Παρακολούθηση τροχιάς μονού άξονα (αριστερά) και συγκεντρωτικές κυψέλες με παρακολούθηση τροχιάς διπλού άξονα (δεξιά)

μεταβαλλόμενη ανύψωση του ήλιου στον ουρανό, αντί της κίνησης του από ανατολή προς δύση. Στην παρακολούθηση τροχιάς διπλού άξονα (σχ. 3.41 -δεξιά) τα πλαίσια κινούνται κατά μήκος δύο αξόνων. Μερικές συστοιχίες, όπως αυτές με συγκεντρωτικές κυψέλες, απαιτούν παρακολούθηση της τροχιάς σε δύο άξονες, επειδή οι κυψέλες χρησιμοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία και η απόδοση τους μειώνεται σημαντικά εάν δεν είναι ακριβώς κάθετες στις ακτίνες του ήλιου.

3.5.4. Φ/Β συστήματα και εφαρμογές τους

3.5.4.1. Αυτόνομα συστήματα

Για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, όπου το ηλεκτρικό δίκτυο κατά μεγάλο μέρος περιορίζεται στις κύριες αστικές περιοχές και ένα σημαντικό ποσοστό του αγροτικού πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση στις πλέον βασικές ενεργειακές υπηρεσίες, τα Φ/Β σήμερα θεωρούνται ευρέως ως το καλύτερο και πιο οικονομικό μέσο παροχής ενός μεγάλου μέρους των στερούμενων υπηρεσιών. Με βάση τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για παροχή των βασικών ενεργειακών υπηρεσιών σε κάθε κάτοικο του αναπτυσσόμενου κόσμου, το αντίστοιχο δυναμικό των Φ/Β εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 16 GW_p (περίπου 15 W_p ανά κάτοικο).

Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ακόλουθες εφαρμογές:

- Συστήματα άντλησης: για παροχή νερού σε χωριά, για άρδευση του εδάφους ή πότισμα εκτρεφόμενων ζώων.
- Συστήματα ψύξης: ιδιαίτερα για τη συντήρηση εμβολίων, αίματος και άλλων αναλώσιμων ζωτικής σημασίας σε προγράμματα υγειονομικής περίθαλψης.
- Φωτισμός: για κατοικίες και κοινοτικά κτίρια, όπως σχολεία και κέντρα υγείας, ώστε να επιτραπεί και μετά τη δύση του ηλίου η συνέχιση των εκπαιδευτικών και παραγωγικών δραστηριοτήτων.
- Σταθμοί φόρτισης μπαταριών: για την επαναφόρτιση των μπαταριών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών, από φακούς και ραδιόφωνα έως τηλεοράσεις και συστήματα φωτισμού.
- Ηλιακά συστήματα κατοικιών: για παροχή ενέργειας στον οικιακό φωτισμό και σε άλλες συσκευές ΣΡ, όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, ραπτομηχανές, κλπ.

Στον πίνακα 3.4 παρέχονται και άλλα παραδείγματα αυτών των εφαρμογών.

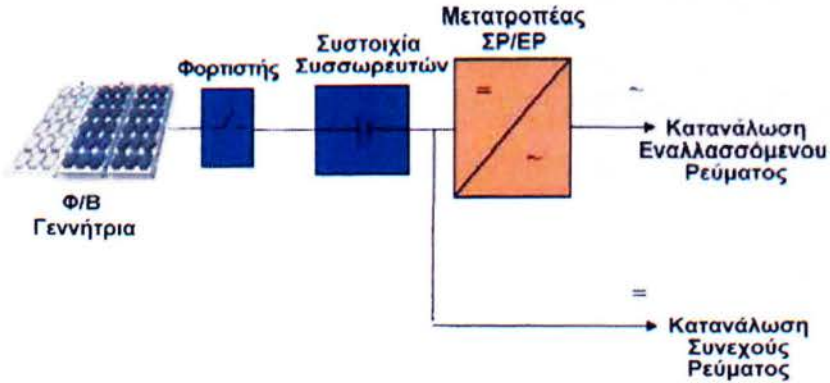
Γεωργία	- Άντληση νερού. - Ηλεκτρική περίφραξη για εκτρεφόμενα ζώα και διαχείριση βοσκοτόπων.
Κοινοτικό Επίπεδο	- Άντληση νερού, συστήματα αφαλάτωσης και απορρύπανσης. - Φωτισμός για σχολεία και άλλα κοινοτικά κτίρια.
Οικιακός Τομέας	- Φωτισμός, για τη διευκόλυνση της μελέτης και δραστηριοτήτων παραγωγής εισοδήματος, και για τη γενικότερη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. - Τηλεόραση, ραδιόφωνο, και άλλες μικρές συσκευές. - Άντληση νερού.
Υγειονομική περίθαλψη	- Φωτισμός για τους θαλάμους, το χειρουργείο και τους χώρους του προσωπικού. - Ιατρικός εξοπλισμός. - Ψύξη εμβολίων. Επικοινωνίες (τηλέφωνο, συστήματα ραδιοεπικοινωνιών). Άντληση νερού. Φωτισμός ασφάλειας.
Μικρές επιχειρήσεις	Συστήματα φωτισμού, για την επέκταση των ωρών λειτουργίας και την αύξηση της παραγωγικότητας. Ηλεκτρική ισχύς για ελαφρύ εξοπλισμό, όπως ραπτομηχανές, ψυγεία, μύλοι σιταριού, φόρτιση μπαταριών. Φωτισμός και ραδιόφωνο σε εστιατόρια, καταστήματα και άλλες εγκαταστάσεις.

Συνιστώσες και συντήρηση

Τα Φ/Β συστήματα είναι ττολυσυναρτησιακά, το οποίο δεν σημαίνει μόνο εύκολη μεταφορά και γρήγορη εγκατάσταση, αλλά επιτρέπει επίσης την εύκολη επέκτασή τους εάν αυξηθούν οι απαιτήσεις ισχύος. Τα συστήματα για αυτόνομες εφαρμογές (σχήμα 3.42) μπορεί να περιλαμβάνουν όλες ή μερικές από τις ακόλουθες βασικές συνιστώσες:

- Μία Φ/Β γεννήτρια (ένα μόνο πλαίσιο ή μία συστοιχία αρκετών πλαισίων) και ένα σύστημα υποστήριξης.

- Εξοπλισμό ρύθμισης της ισχύος (προαιρετικά - συνήθως περιέχονται μετατροπείς ΣΡ/ΕΡ και εξοπλισμός ελέγχου και προστασίας).
- Αποθήκευση ενέργειας (προαιρετικά - συνήθως παρέχεται από μπαταρίες).
- Καλωδιώσεις.
- Ένα φορτίο (π.χ. φωτιστικά, αντλίες, ψυγεία, ραδιόφωνο, τηλεόραση).



Σχήμα 3.42. Σχηματική παράσταση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Ο εξοπλισμός ηλεκτροπαραγωγής των Φ/Β δεν διαθέτει κινούμενα μέρη, το οποίο γενικά περιορίζει τις απαιτήσεις για συντήρηση στο ελάχιστο και οδηγεί σε μακρούς χρόνους λειτουργίας. Καθαυτά τα πλαίσια συνήθως λειτουργούν για είκοσι περίπου έτη και οι απαιτήσεις τους περιορίζονται στον περιστασιακό καθαρισμό τους ώστε να αφαιρούνται οι επικαθίσεις ρύπων. Η πλειοψηφία των άλλων συνιστωσών, συχνά καλούμενες και εξοπλισμός εξισορρόπησης (BOS), χρήζουν συντήρησης κάθε δέκα ή περισσότερα έτη, εάν ακολουθούνται απλά μέτρα προληπτικής συντήρησης.

Οι μπαταρίες που απαιτούνται συνήθως στις περισσότερες εκτός δικτύου εφαρμογές, εκτός από την άντληση ύδατος, αποτελούν την περίοδο αυτή το αδύνατο σημείο των Φ/Β συστημάτων και εν γένει χρειάζονται αντικατάσταση κάθε πέντε περίπου χρόνια.

Είναι σημαντικό οι μπαταρίες, αλλά και όλες οι συνιστώσες του συστήματος, να είναι αποδεκτής ποιότητας. Όπου έχουν αποτύχει κατά το παρελθόν τα Φ/Β συστήματα για τεχνικούς λόγους, αυτό γενικά οφειλόταν σε ελλιπή σχεδιασμό του συστήματος ή σε ανεπιτυχή επιλογή των συνιστωσών BOS, παρά σε αστοχία ενός Φ/Β πλαισίου. Ως εκ τούτου, αξιόλογες ερευνητικές προσπάθειες διεθνώς στοχεύουν αυτή τη στιγμή στη βελτίωση της απόδοσης των συνιστωσών BOS.

Κόστη και οικονομικά στοιχεία

Από την άποψη του μέσου μοναδιαίου ενεργειακού κόστους, που υπολογίζεται με τη χρήση των παραδοσιακών λογιστικών τεχνικών, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β δεν μπορεί ακόμα να ανταγωνιστεί τις αποδοτικές συμβατικές κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής. Εξάλλου, η μεγάλη πλειοψηφία των Φ/Β εγκαταστάσεων μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνταν για εφαρμογές μικρής σχετικά ισχύος σε θέσεις που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Στις περιπτώσεις αυτές, τα Φ/Β επιλέγονται επειδή προσφέρουν μια ασφαλή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ισχύος, και αποτελούν συχνά τη φθηνότερη ενεργειακή επιλογή.

Όπως και σε κάθε παρόμοιο αγαθό, η συνολική τιμή αγοράς ενός Φ/Β συστήματος προκύπτει από όλα τα εγγενή κόστη για την παραγωγή των επιμέρους συνιστωσών, τη μεταφορά και την εγκατάστασή τους. Μπορεί επίσης να υπάρξουν κόστη σχετικά με τη σχεδίαση και την τεχνική μελέτη του συστήματος, καθώς και για την αγορά γης - ειδικά στα έργα μεγάλης κλίμακας. Εντούτοις, υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται:

- Οι περισσότεροι κατασκευαστές Φ/Β συστημάτων προσφέρουν κάποια μορφή έκπτωσης για συμφωνίες μαζικής αγοράς.
- Ο εισαγόμενος από ξένες χώρες εξοπλισμός υπόκειται σε φόρο εισαγωγής.
- Όταν τα συστήματα αγοράζονται μέσω αντιπροσώπου, συνήθως υφίσταται μια προσαύξηση για τη διεκπεραίωση, και γενικά θα πρέπει να καταβληθεί κάποιου είδους φόρος επί των πωλήσεων.

Έτσι είναι δύσκολο να καθοριστεί η συνολική τιμή, η οποία ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή, το μέγεθος του συστήματος και τη θέση τοποθέτησης. Πάντως, το κόστος της Φ/Β συστοιχίας είναι σημαντικός παράγοντας και αποτελεί συνήθως το 30-50% του συνολικού κόστους, ενώ τα BOS συνεισφέρουν κατά ένα αντίστοιχο ποσοστό. Για παράδειγμα, ένα μικρό οικιακό σύστημα φωτισμού για τροφοδοσία δύο ή τριών λαμπτήρων φθορισμού είναι τυπικά της τάξης των 50 W_p και κοστίζει περίπου €500, ενώ ένα Φ/Β ψυγείο για διατήρηση εμβολίων μπορεί να απαιτεί μια συστοιχία 200 W_p, της οποίας η συνολική τιμή ανέρχεται περίπου σε €5000.

Κατά συνέπεια, τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μια ελκυστική επιλογή σε αγροτικές περιοχές όπου δεν είναι διαθέσιμη σύνδεση με το δίκτυο, αν και υπό όρους απλής αποπληρωμής τα Φ/Β μπορεί συχνά να παρουσιάζονται ως μη ελκυστικά, λόγω των υψηλών αρχικών τους δαπανών. Εντούτοις, με την κοστολόγηση σε όλο τον κύκλο ζωής, στην οποία υπολογίζονται όλες οι δαπάνες αντικατάστασης καυσίμων και εξοπλισμού που υφίστανται σε όλη τη ζωή του συστήματος, τα Φ/Β συγκρίνονται συχνά ευνοϊκά με τις εναλλακτικές επιλογές, οι οποίες τείνουν να έχουν μικρότερα αρχικά κόστη αλλά απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερες λειτουργικές δαπάνες.

Η υποκατάσταση των συμβατικών τεχνολογιών με Φ/Β μπορεί να επιφέρει διάφορες θετικές επιπτώσεις που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν άμεσα σε οικονομικούς όρους, αλλά εντούτοις παρέχουν σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Για παράδειγμα, σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς λαμπτήρες κηροζίνης, τα Φ/Β μπορούν να παρέχουν καλύτερα επίπεδα φωτισμού, καθιστώντας εφικτή τη συνέχιση των εκπαιδευτικών και παραγωγικών δραστηριοτήτων και μετά τη δύση του ηλίου με τη μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς και την αποφυγή των επιβλαβών αναθυμιάσεων.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει επισημάνει ότι τα Φ/Β προσφέρουν μια πιο αξιόπιστη υπηρεσία ψύξης σε σχέση με άλλες επιλογές ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Αυτό έχει οδηγήσει σε αυξημένη δραστηριότητα των αποθεμάτων εμβολίων, το οποίο με τη σειρά του έχει βοηθήσει στη μείωση της θνησιμότητας. Όταν συγκρίνονται τα Φ/Β με τις εναλλακτικές λύσεις πρέπει να εξετάζονται παράγοντες αυτού του είδους, ακόμα και εάν δεν είναι εύκολο να αξιολογηθεί η ανταποδοτικότητα του κόστους.

Υβριδικά Φ/Β συστήματα

Αν και τα Φ/Β συστήματα γενικά διαθέτουν μέσα αποθήκευσης της ενέργειας για να καλύψουν μια καθορισμένη περίοδο ανεπαρκούς ηλιοφάνειας, μπορεί να υπάρξουν παρατεταμένες περιόδους κακοκαιρίας οπότε απαιτείται μια εναλλακτική πηγή ώστε να εξασφαλιστεί η παραγωγή ισχύος. Τα υβριδικά Φ/Β συστήματα συνδυάζουν μια Φ/Β γεννήτρια με μια άλλη πηγή ισχύος, συνήθως μια ντιζελογεννήτρια, ή και με κάποια άλλη ανανεώσιμη πηγή, π.χ. μια ανεμογεννήτρια. Η Φ/Β γεννήτρια διαστασιοποιείται συνήθως ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση φορτίου βάσης, ενώ η εναλλακτική παροχή τίθεται σε

λειτουργία μόνο όταν είναι αναγκαίο. Αυτή η ρύθμιση παρέχει όλα τα οφέλη των Φ/Β όσον αφορά το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, αλλά επιπλέον εξασφαλίζει μια εγγυημένη τροφοδοσία.

Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης. Δεν έχει νόημα να διαστασιολογείται ένα σύστημα ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τη ζήτηση αποκλειστικά με Φ/Β, για παράδειγμα, το κανονικό φορτίο είναι μόνο το 10% του μέγιστου. Αντίστοιχα, μια ντιζελογεννήτρια διαστασιολογημένη έτσι ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση αιχμής θα λειτουργούσε υπό μερικό φορτίο μη αποδοτικά τον περισσότερο χρόνο. Σε μια τέτοια κατάσταση, ένα υβριδικό σύστημα Φ/Β-ντίζελ θα ήταν ο ιδανικός συνδυασμός.

3.5.4.2. Διασυνδεδεμένα συστήματα

Μια διαφορετική προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο διαφορετικούς τύπους συστημάτων:

- Οι αυτοπαραγωγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν για την ίδια κατανάλωση τους μικρά διαδραστικά Φ/Β συστήματα. Το πλεόνασμα της ενέργειας τροφοδοτείται στο δίκτυο, ενώ σε περιόδους έλλειψης (π.χ. τη νύχτα) καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο.
- Στους εμπορικής κλίμακας κεντρικούς σταθμούς με πεδία Φ/Β συστοιχιών, τους οποίους διαχειρίζονται οι εταιρίες ηλεκτρισμού όπως και τις άλλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, όλη η παραγωγή ΣΡ του πεδίου των συστοιχιών, που γενικά είναι της τάξης των MW, μετατρέπεται σε ΕΡ και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, απ' όπου κατόπιν διανέμεται στους πελάτες.

Σ' ένα διασυνδεδεμένο σύστημα (σχήμα 3.43) το δίκτυο ενεργεί όπως μία μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος αφού, λαμβάνοντας υπόψη ότι πρακτικά δεν υπάρχει όριο στη ικανότητα αποθήκευσης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να

αποθηκεύεται, ενώ στις αυτόνομες εφαρμογές οι μπαταρίες θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένες οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αποβληθεί.



Σχήμα 3.43. Σχηματική παράσταση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

Στις βιομηχανικές χώρες, όπου γενικά είναι εύκολη η σύνδεση στο κύριο δίκτυο, τα Φ/Β συστήματα δεν αποτελούν μια οικονομικά ελκυστική επιλογή. Ένα Φ/Β σύστημα στέγης 1,5 kW_p, για παράδειγμα, έχει τυπικό κόστος εγκατάστασης περίπου €10.000. Το κόστος του παραγόμενου ηλεκτρισμού εξαρτάται από τη συνολική αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής του συστήματος, τη διαθεσιμότητα της πηγής, και το εικαζόμενο προεξοφλητικό επιτόκιο, αλλά ενδεικτικά κυμαίνεται μεταξύ €0,35-0,65/kWh. Πάντως, αυτό δεν απεικονίζει ακριβώς την πραγματικότητα, αφού συχνά δεν προσδίδεται κάποια νομισματική αξία στα οφέλη που αποφέρουν τα Φ/Β. Η πιο αποδεκτή "προστιθέμενη αξία" του ηλιακού ηλεκτρισμού είναι ότι δεν μολύνει το περιβάλλον.

3.6. Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα

3.6.1. Εισαγωγή

Η ηλιακή ενέργεια έχει υψηλή ενεργειακή τιμή καθώς προέρχεται από διαδικασίες που συντελούνται στην επιφάνεια του ήλιου σε ισοδύναμες θερμοκρασίες μέλανος σώματος της τάξης των 5.800 K. Για να καταστεί η ηλιακή ροή εκμεταλλεύσιμη για τεχνικές διεργασίες και εμπορικές εφαρμογές, έχουν αναπτυχθεί ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη διαφορετικές τεχνολογίες εστίασης για διάφορες εμπορικές εφαρμογές. Τα συγκεντρωτικά θερμικά ηλιακά συστήματα αναμφισβήτητα θα συμβάλουν σημαντικά κατά τις αμέσως επόμενες δεκαετίες στην αποδοτική και οικονομική ανανεώσιμη και καθαρή ενεργειακή τροφοδοσία.

Οι τεχνολογίες ηλιακής συγκέντρωσης είναι διατάξεις που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια εστιάζοντας την ηλιακή ακτινοβολία σ' ένα σημείο ή μία γραμμή εστίασης, και μπορούν να εφαρμοσθούν για την ενεργοποίηση χημικών αντιδράσεων ή για παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα ηλιακά συστήματα χημικής ενέργειας αξιοποιούν τις εν λόγω τεχνολογίες ηλιακής συγκέντρωσης για την ενεργοποίηση θερμοχημικών, φωτοχημικών ή ηλεκτροχημικών διεργασιών. Οι εφαρμογές αυτών των τεχνολογιών βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο και είναι πολλά υποσχόμενες μελλοντικά. Όλες οι τεχνολογίες ηλιακής θερμικής ηλεκτροπαραγωγής περιλαμβάνουν έναν αριθμό βασικών σταδίων:

Τα πλέον ώριμα συστήματα Ηλεκτροπαραγωγής με Ηλιακή Συγκέντρωση (ΗΗΣ) που χρησιμοποιούν τεχνολογίες αυτού του είδους βρίσκονται ήδη στο στάδιο της εμπορευματοποίησης, και μονάδες ισχύος πολλών MW παράγουν τη φθηνότερη ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως τα τελευταία 15 έτη. Τα τελικά στάδια της ηλεκτροπαραγωγής με χρήση συστημάτων ΗΗΣ είναι όμοια με αυτά της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής (σχήμα 3.44), καθώς η τελική διεργασία ενεργειακής μετατροπής βασίζεται στη χρήση ατμού ή αερίου για την περιστροφή στροβίλων ή την κίνηση ενός εμβόλου σε μία μηχανή Stirling. Πάντως, σ' ένα σύστημα ΗΗΣ ο ατμός ή το θερμό αέριο παράγεται μέσω της συγκέντρωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Όλες οι τεχνολογίες ηλιακής θερμικής ηλεκτροπαραγωγής περιλαμβάνουν έναν αριθμό βασικών σταδίων:

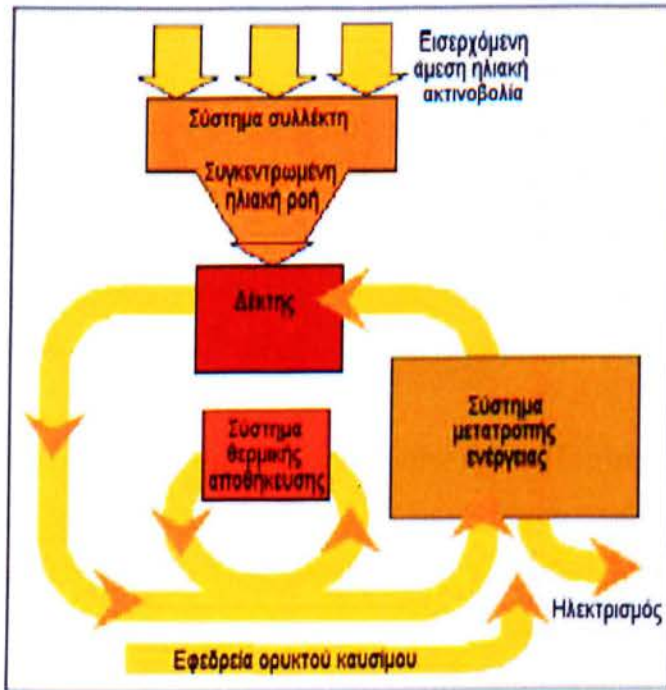
Συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ενός συστήματος συλλεκτών.

Συγκέντρωση (ή εστίαση) της ακτινοβολίας σε ένα δέκτη.

Μετατροπή της από το δέκτη σε θερμική ενέργεια.

Μεταφορά της θερμικής ενέργειας στο σύστημα ενεργειακής μετατροπής.

Μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό.



Σχήμα 3.44. Βασικές αρχές της τεχνολογίας Ηλεκτροπαραγωγής με Ηλιακή Συγκέντρωση

Πολλά τέτοια συστήματα είναι δυνατά, τα οποία μάλιστα μπορούν να συνδυάζονται με άλλες ανανεώσιμες και μη τεχνολογίες σε υβριδικά συστήματα. Ωστόσο θεωρείται, ειδικότερα από το πρόγραμμα SolarPaces της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (IEA), ότι οι τρεις πολλά υποσχόμενες αρχιτεκτονικές θερμικής ηλιακής ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την τεχνική που χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας, είναι:

- τα παραβολικά κοίλα,
- οι ηλιακοί πύργοι ισχύος, και
- τα συστήματα δίσκου.

3.6.2. Γενική επισκόπηση των τεχνολογιών των συστημάτων ισχύος

3.6.2.1. Συστήματα παραβολικών κοίλων

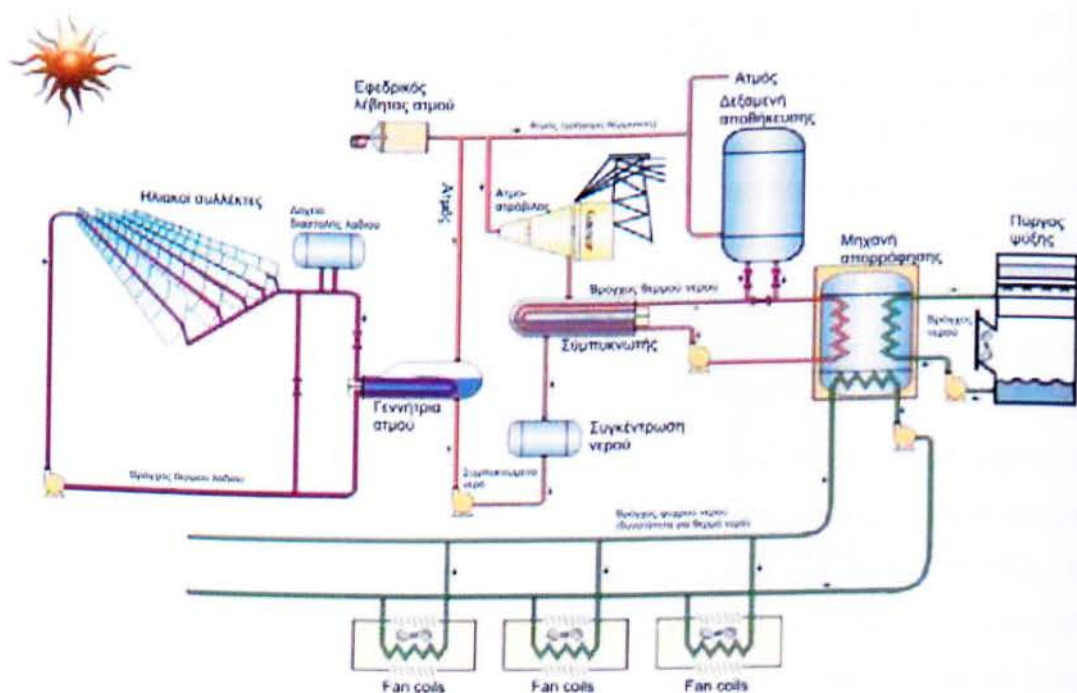
Παρούσα κατάσταση της τεχνολογίας των κοίλων

Η ανακλαστική επιφάνεια ενός παραβολικού κοίλου συγκεντρώνει το ηλιακό φως σε ένα σωληνωτό δέκτη που είναι τοποθετημένος κατά μήκος της εστιακής γραμμής του κοίλου και ζεσταίνει το ρευστό που ρέει στο σωλήνα, το οποίο κατόπιν μέσω σωληνώσεων μεταφέρεται σε έναν ατμοστρόβιλο. Εν γένει τα κοίλα σχεδιάζονται ώστε να παρακολουθούν τον ήλιο κατά μήκος ενός άξονα, συνήθως κατά τον άξονα βορά - νότου. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράσχει θερμότητα διεργασιών ή για να ενεργοποιήσει χημικές αντιδράσεις, αλλά είναι πιο γνωστή για τις εφαρμογές της που παρέχουν ηλεκτρική ισχύ. Ο λόγος συγκέντρωσης των παραβολικών κοίλων κυμαίνεται από 10 μέχρι 100, ενώ η θερμοκρασία ανέρχεται στους 400°C.

Τα συναθροιζόμενα σε πεδία συλλεκτών παραβολικά κοίλα τη στιγμή αυτή παρέχουν όλη την εμπορικά παραγόμενη ηλιακή θερμική ισχύ, με ένα συνολικό εγκατεστημένο δυναμικό πάνω από 350 MW στην Καλιφόρνια, που αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 90% της εγκατεστημένης ηλιακής ισχύος παγκοσμίως. Σ' αυτά τα Συστήματα Ηλιακής Ηλεκτροπαραγωγής (SEGS - σχήμα 3.45) χρησιμοποιείται ένα θερμικό έλαιο ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας, το οποίο αντλείται μέσα από μια σειρά συμβατικών εναλλακτών θερμότητας που παράγουν υπέρθερμοατμούς 390°C για τη λειτουργία ενός στρόβιλου. Ο παραγόμενος ηλεκτρισμός διοχετεύεται στη συνέχεια στο δίκτυο της τοπικής εταιρείας ηλεκτρισμού.

Οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν στη βάση μιας αναλογίας 75% από ηλιακά και 25% από φυσικό αέριο. Σήμερα, έχουν συσσωρευτεί πάνω από 110 σταθμο-έτη εμπειρίας από τις 9 υπό λειτουργία μονάδες, οι οποίες κυμαίνονται από 14 έως 80 MW. Από το 1991 δεν έχει κατασκευαστεί καμία νέα μονάδα, καθώς οι ελαττούμενες τιμές των ορυκτών καυσίμων και οι μειωμένες φορολογικές ελαφρύνσεις στις ΗΠΑ είχαν ως αποτέλεσμα οι βραχυπρόθεσμες οικονομικές εκτιμήσεις για μελλοντικούς σταθμούς να καθίστανται μη ελκυστικές.

Η απόδοση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής SEGS συνέχισε να βελτιώνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Η ετήσια διαθεσιμότητα του ηλιακού πεδίου, που ορίζεται ως η δυνατότητα του να λειτουργεί, ξεκίνησε από ένα ικανοποιητικό επίπεδο της τάξης του 96-97% και σταδιακά ανήλθε στο 99,5%, με την εξέλιξη των τεχνικών συντήρησης και την επίλυση των όποιων προβλημάτων με τα ανταλλακτικά. Στη μονάδα του Kramer Junction επετεύχθη η κατά 30% μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

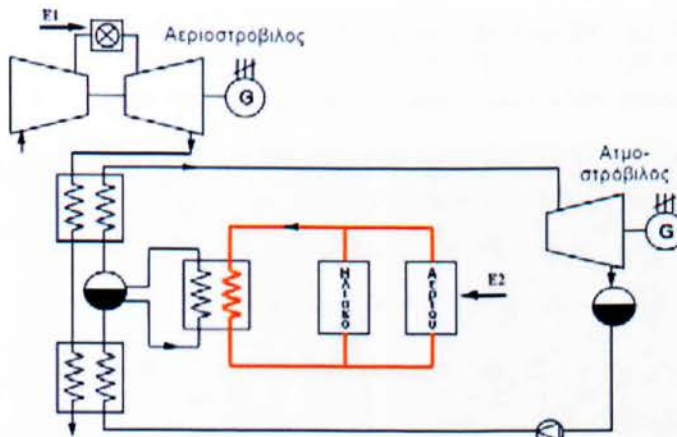


Σχήμα 3.45. Διάγραμμα λειτουργίας ενός σταθμού ηλιακών/κύκλου Rankine τύπου SEGS

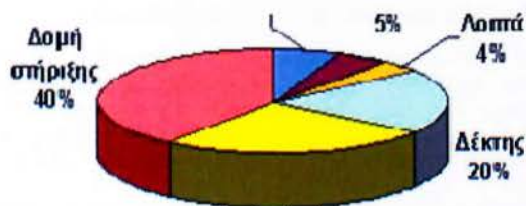
Σε καθαρή βάση, η ετήσια αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια του SEGS VI ανήλθε το 1997 σε 10,8%. Ωστόσο, τον Ιούλιο του ίδιου έτους η μέγιστη στιγμιαία τιμή μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό ανήλθε σε περίπου 21%. Η μέγιστη τιμή της θερμικής αποδοτικότητας του ηλιακού πεδίου ήταν 60%. Επίσης, αναφέρθηκε ετήσιος συντελεστής δυναμικού (το ποσοστό του έτους που η τεχνολογία μπορεί να αποδώσει ηλιακή ενέργεια στην ονομαστική ισχύ) 24%. Οι επιδόσεις αυτές αφορούν εγκαταστάσεις που λειτουργούν επί δέκα έτη. Βάσιμες προβλέψεις που αφορούν τα εξελιγμένα κοίλα ανάγουν τον ετήσιο βαθμό απόδοσης στο επίπεδο του 15-16% και τον συντελεστή δυναμικού στο 25-70%.

Δυνατότητες μείωσης του κόστους

Οι προβλέψεις για τα κόστη των εγκαταστάσεων παραβολικών κοίλων βασίζονται στην εμπειρία των SEGS και την υφιστάμενη κατάσταση της ανταγωνιστικής αγοράς. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες σκοπιμότητας, τα κόστη των σταθμών τύπου SEGS υπολογίζονται σε περίπου \$2700/kW και των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου με ενσωματωμένα ηλιακά (ISCCS - σχήμα 3.46) σε περίπου \$850/kW. Το κόστος του ηλιακού πεδίου εκτιμάται αυτή τη στιγμή στα \$275 ανά εγκατεστημένο m^2 . Η ανάλυση κόστους για τις συνιστώσες ή τα υποσυστήματα του ηλιακού πεδίου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.47.



Σχήμα 3.46. Σχηματική παράσταση ενός συστήματος ISCCS

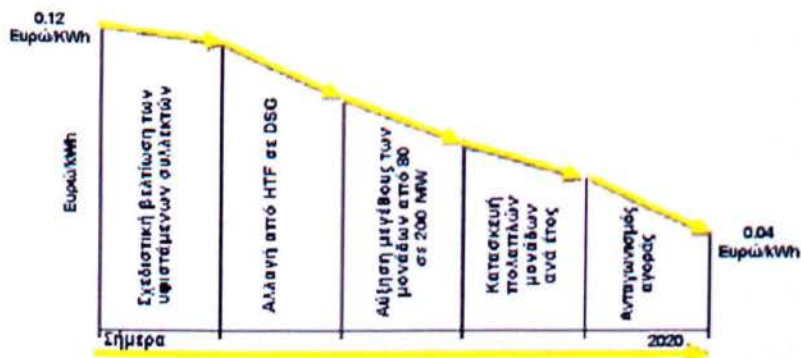


Σχήμα 3.47. Κατανομή κόστους του συστήματος συλλογής

Ωστόσο, έχει προσδιοριστεί ένας αριθμός δυνατοτήτων που πιθανώς θα οδηγήσουν σε σημαντική μείωση του σταθμισμένου κόστους του ηλεκτρισμού (βλ. σχήμα 3.48) και στη βελτίωση της απόδοσης της υφιστάμενης τεχνολογίας των κοίλων:

- Το μέγεθος της εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής: Η αύξηση του μεγέθους της μονάδας αποτελεί έναν από τους ευκολότερους τρόπους μείωσης του κόστους του ηλιακού ηλεκτρισμού από εγκαταστάσεις παραβολικών κοίλων. Από μελέτες έχει προκύψει ότι, διπλασιάζοντας το μέγεθος μειώνονται κατά περίπου 12 έως

- 14% το κόστος κεφαλαίου, επηρεάζοντας αισθητά την οικονομία κλίμακας και τη λειτουργία και συντήρηση.
- ISCCS: Είναι μια προτεινόμενη διάταξη που αξιοποιεί τον κύκλο βάσης του ατμού σε μία μονάδα συνδυασμένου κύκλου για τη μετατροπή της θερμικής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Παρόλο που υπολείπεται κάποια σχεδιαστική εργασία, από τις αρχικές μελέτες προκύπτει ότι η διάταξη ISCCS μπορεί να μειώσει το κόστος της ηλιακής ισχύος μέχρι και 22% ως προς το μικτό κόστος της ισχύος μίας συμβατικής μονάδας SEGS (με 25% ορυκτό καύσιμο) παρόμοιου μεγέθους.
- Εξελιγμένοι κοίλοι συλλέκτες: Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.47, η κατασκευή αναλογεί στο 40% περίπου του κόστους του ηλιακού πεδίου, ενώ οι δέκτες και οι ανακλαστήρες στοιχίζουν ο καθένας 20-25% του συνολικού κόστους. Μπορούν να διερευνηθούν σχεδιάσεις μικρότερου κόστους για τη χαλύβδινη κατασκευή, ενώ αναμένεται να συνεχιστούν οι βελτιώσεις στους δέκτες.
- Άμεση παραγωγή ατμού: Σύμφωνα με αυτήν την αρχή, παράγεται άμεσα ατμός στους συλλέκτες παραβολικού κοίλου. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται κόστος εξαλείφοντας την ανάγκη για το σύστημα του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας και μειώνονται οι απώλειες που σχετίζονται με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή του ατμού. Μία πιλοτική εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας βρίσκεται σε εξέλιξη στην Plataforma Solar de Almeria (Ισπανία).
- Ανάπτυξη πάρκων ηλιακής ισχύος: Η ανάπτυξη πολλαπλών σταθμών στην ίδια τοποθεσία υπό τη μορφή ενός πάρκου ηλιακής ισχύος παρέχει μία δυνατότητα



Σχήμα 3.48. Δυνατότητες μείωσης του κόστους της τεχνολογίας των παραβολικών κοίλων

σημαντικής ελάττωσης του κόστους των σταθμών ΗΗΣ. Με την κατασκευή πέντε

μονάδων ταυτόχρονα στα πλαίσια ενός έργου που αναπτύσσεται σταδιακά, στην πράξη μπορεί να μειωθεί το κόστος κατά 25 με 30% σε σχέση με ένα ενιαίο έργο.

- Χρέωση χαμηλού κόστους: Εν τέλει, ένας αριθμός φορέων έχουν επισημάνει ότι μπορεί να εφαρμοσθεί χρέωση χαμηλού κόστους για τα έργα ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Μια διαθεσιμότητα δανεισμού με 2% αντί 9,5% μπορεί να μειώσει το σταθμισμένο κόστος του ηλεκτρισμού περισσότερο από 30%.

Υφιστάμενες δυνατότητες διεθνώς

Η διεθνής αγορά οδηγείται από τα εσωτερικά ενεργειακά προγράμματα κάθε χώρας και



Σχήμα 3.49. Φωτογραφίες από σταθμό ηλεκτροπαραγωγής παραβολικών κοίλων
[Αριστερά: Kramer Junction - Δεξιά: Gould Electronics]

ενθαρρύνεται από τη θετική στάση της Παγκόσμιας Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (GEF) και της Παγκόσμιας Τράπεζας σχετικά με την ανάπτυξη και την εφαρμογή των συστημάτων ΗΗΣ (σχήμα 3.49). Τέτοιες ευκαιρίες παρέχονται στις αναπτυσσόμενες χώρες και, τα τελευταία χρόνια, γίνονται σχετικές συζητήσεις με τους ειδικούς για τον ενεργειακό σχεδιασμό, τις εταιρείες ηλεκτρισμού και κυβερνητικές υπηρεσίες στην Ινδία, το Μεξικό, την Αίγυπτο, την Ιορδανία, το Μαρόκο, την Ελλάδα, τη Βραζιλία, το Ιράν, την Κίνα και την Ισπανία. Παρόλο που είναι αδύνατο να προβλεφθούν πόσες από αυτές τις πρωτοβουλίες θα αναπτυχθούν στα αμέσως προσεχή έτη, είναι σαφές ότι δυνατότητες υπάρχουν. Οι περισσότερες χώρες έχουν εστιάσει στην τεχνολογία των παραβολικών κοίλων καθώς αυτή βρίσκεται ήδη σε εμπορικό στάδιο, αναγνωρίζοντας όμως ότι οι πύργοι ισχύος και τα συστήματα δίσκου/μηχανής μπορεί να καταστούν μια οικονομικά πιο αποδοτική επιλογή κάποια στιγμή στο μέλλον.

Πίνακας 3.5. Υφιστάμενη κατάσταση των έργων παραβολικών κοίλων

Χώρα	Στοιχεία εγκατάστασης	Κατάσταση
Ινδία	135 MWe ISCCS με 35 MWe ηλιακή ισχύ	Επιχορήγηση από GEF 49 εκατ. US \$ και δάνειο από KfW 100 εκατ. US \$
Αίγυπτος	140 MWe ISCCS με 35 MWe ηλιακή ισχύ	Εγκεκριμένη επιχορήγηση από GEF 40 με 50 εκατομμύρια US \$
Μαρόκο	150 MWe ISCCS με 30-50 MWe ηλιακή ισχύ	Δεσμευμένη επιχορήγηση από GEF 40 με 50 εκατομμύρια US \$
Μεξικό	310 MWe ISCCS με 40 MWe ηλιακή ισχύ	Δεσμευμένη επιχορήγηση από GEF 40 με 50 εκατομμύρια US \$
Ελλάδα (Κρήτη)	50 MWe SEGS - Έργο THESEUS	Ανάπτυξη IPP, επιχορήγηση από το πρόγραμμα Thermie της ΕΕ
Ισπανία	50 MWe SEGS	Αναμένονται τα αποτελέσματα για την ηλιακή τιμολόγηση
ΗΠΑ (Νεβάδα)	30 MWe SEGS	Αναμένονται τα αποτελέσματα για το πρότυπο ηλιακού χαρτοφυλακίου

3.6.2.2. Συστήματα πύργου ισχύος (ή ηλιακού πύργου)

Παρούσα κατάσταση της τεχνολογίας των συστημάτων πύργου ισχύος

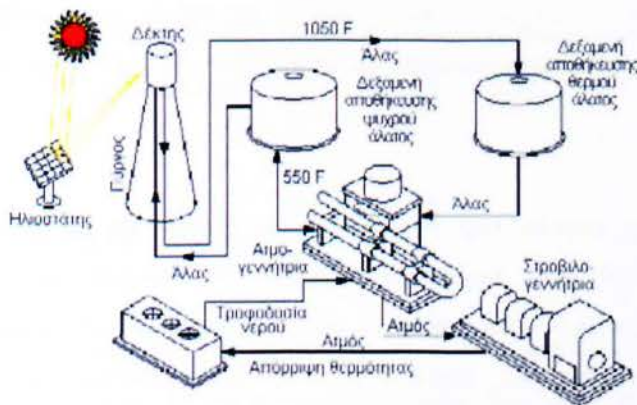
Στα συστήματα πύργου ισχύος, οι ηλιοστάτες παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου με μηχανισμό δύο αξόνων ο οποίος ακολουθεί τις γωνίες αζιμουθίου και ανύψωσης ώστε να ανακλάται και να συγκεντρώνεται το άμεσο ηλιακό φως σε ένα κεντρικό δέκτη που είναι τοποθετημένος σε πύργο. Από εκεί η ενέργεια μεταφέρεται σ' ένα ρευστό μεταφοράς της θερμότητας, το οποίο στη συνέχεια διοχετεύεται



προαιρετικά στο σύστημα αποθήκευσης και, εν τέλει, στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρισμό και τροφοδοτεί το δίκτυο.

Οι πύργοι ισχύος καθορίζονται με βάση τις επιλογές που γίνονται για το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας, το μέσο αποθήκευσης και τον κύκλο μετατροπής της ισχύος. Το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας μπορεί να είναι νερό / ατμός, τηγμένο νιτρικό άλας, υγρό μέταλλο ή αέρας. Η θερμική αποθήκευση μπορεί να παρέχεται από υλικά αλλαγής φάσης ή κεραμικούς πλίνθους. Εξάλλου, όσον αφορά τον κύκλο ισχύος, χρησιμοποιούνται συστήματα μετατροπής ατμού κύκλου Rankine με πιθανή εναλλακτική λύση αυτή των συστημάτων μετατροπής ανοικτού κύκλου Brayton.

Τα συστήματα πύργου ισχύος συνήθως επιτυγχάνουν λόγους συγκέντρωσης από 300 έως 1500, μπορούν να λειτουργούν σε θερμοκρασίες μέχρι 1500°C και έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος, συνήθως 10 MW ή περισσότερο. Στα συστήματα πύργου ισχύος που αναπτύσσονται τελευταία χρησιμοποιείται είτε νιτρικό άλας είτε αέρας ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Στο σχήμα 3.50 παρουσιάζεται το διαγράμμά των κύριων ενεργειακών ροών σε μια ηλιακή μονάδα ηλεκτροπαραγωγής τήγματος.



Σχήμα 3.50. Διάγραμμα ενεργειακών ροών μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής πύργου ισχύος με σύστημα αποθήκευσης τηγμένου άλατος

Σε ένα σύστημα ηλιακού πύργου ισχύος τηγμένου άλατος, αντλείται υγρό άλας στους 290°C από μία "ψυχρή" δεξαμενή αποθήκευσης μέσα από το δέκτη όπου θερμαίνεται στους 565°C, και από εκεί προς μία "θερμή" δεξαμενή όπου αποθηκεύεται. Όταν απαιτείται ηλεκτρική ισχύς από το σταθμό, το ζεστό άλας αντλείται σε ένα σύστημα ατμοπαραγωγής όπου παράγεται υπέρθερμος ατμός για ένα συμβατικό σύστημα στροβίλου/γεννήτριας κύκλου

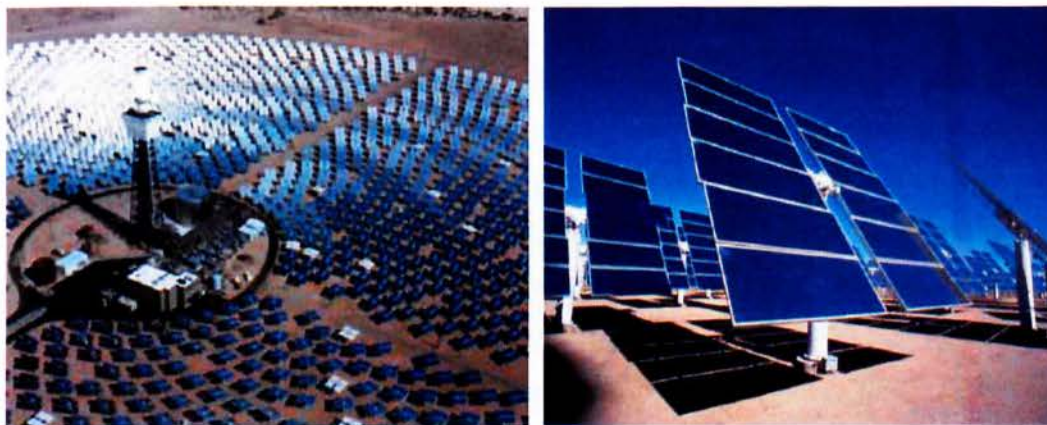
Rankine. Από τον ατμοπαραγωγό το άλας επιστρέφει στην ψυχρή δεξαμενή όπου αποθηκεύεται, και στη συνέχεια οδηγείται πάλι στο δέκτη για να αναθερμανθεί.

Ο καθορισμός του βέλτιστου μεγέθους αποθήκευσης για την κάλυψη των αναγκών τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της διαδικασίας σχεδιασμού του συστήματος. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να σχεδιάζονται με αρκετή χωρητικότητα ώστε να ενεργοποιείται ένας στρόβιλος σε πλήρη ισχύ μέχρι και για 13 ώρες. Το πεδίο των ηλιοστατών που περιβάλλει τον πύργο διατάσσεται έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η ετήσια απόδοση της εγκατάστασης. Σε μία τυπική εγκατάσταση, η συλλογή της ηλιακής ενέργειας γίνεται με ένα ρυθμό που υπερβαίνει το μέγιστο που απαιτείται ώστε να τροφοδοτείται μεατμό ο στρόβιλος.

Κατά συνέπεια, το σύστημαθερμικής αποθήκευσης μπορεί να φορτίζεται την ίδια στιγμή που η εγκατάσταση παράγει ηλεκτρική ισχύ υπό πλήρες δυναμικό. Ο λόγος της θερμικής ισχύος που παρέχεται από το σύστημα των συλλεκτών προς τη μέγιστη θερμική ισχύ που απαιτείται από τη στροβιλο-γεννήτρια είναι γνωστός ως «ηλιακό πολλαπλάσιο». Με ένα ηλιακό πολλαπλάσιο 2,7 περίπου, ένα εγκατεστημένο στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας σύστημα πύργου ισχύος τηγμένου άλατος μπορεί να σχεδιαστεί για ετήσιο συντελεστή δυναμικού της τάξης του 65%, όταν οι ηλιακές τεχνολογίες χωρίς αποθήκευση περιορίζονται σε αντίστοιχες τιμές κοντά στο 25%.

Όλες οι εκτιμήσεις της ετήσιας παραγωγής ενέργειας βασίζονται σε προσομοιώσεις που γίνονται με τον υπολογιστικό κώδικα SOLERGY. Τα δεδομένα αυτού του κώδικα (ανακλαστικότητα κατόπτρου, αποδοτικότητα δέκτη, χρόνοι εκκίνησης, παρασιτική ισχύς, διαθεσιμότητα εγκατάστασης, κλπ.) βασίζονται σε στοιχεία μετρήσεων που ελήφθησαν από τον ισχύος 10 MW σταθμό Solar One και από τη δοκιμή ενός μικρού (~1MW) συστήματος δέκτη τηγμένου άλατος που διεξήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 1980, αφού δεν υπάρχουν διαθέσιμα συνολικά ενεργειακά στοιχεία από κάποιον εν λειτουργία πύργο ισχύος τηγμένου άλατος. Η συλλογή στοιχείων αυτού του είδους αποτελεί έναν από τους κύριους στόχους του επιδεικτικού έργου Solar Two.

Από το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής Solar Two αναμένεται μία ετήσια αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια της τάξης του 8,5%. Προκειμένου να εξοικονομηθούν αρχικά κεφάλαια, ο σταθμός (σχήμα 3.51) διαστασιολογήθηκε ώστε να έχει ετήσιο συντελεστή δυναμικού 20% και θερμική αποθήκευση για λειτουργία τριών ωρών. Στην πρώτη εμπορική μονάδα αναμένεται να επιτευχθεί αποδοτικότητα μετατροπής και ετήσιος συντελεστής δυναμικού 15 και 43% αντίστοιχα. Σύμφωνα με εύλογες προβλέψεις, για τα εξελιγμένα συστήματα πύργου ισχύος αναμένονται τιμές της αποδοτικότητας



Σχήμα 3.51. Φωτογραφίες από το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής πύργου ισχύος 10 MW_e Solar Two

μετατροπής από ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια και του ετήσιου συντελεστή δυναμικού της τάξης των 20% και 77%, αντίστοιχα.

Δυνατότητες μείωσης του κόστους

Τα κόστη που παρουσιάζονται για τα συστήματα πύργου ισχύος συνήθως βασίζονται στα πραγματικά που προέκυψαν από τις εργασίες του Solar Two, όπως αυτά έχουν δηλωθεί από την εταιρεία Southern California Edison. Οι εκτιμήσεις για τα κόστη κεφαλαίου και Λ&Σ από το έτος 2000 και μετά συμφωνούν με τις εκτιμήσεις που περιέχονται σε μελέτες του IEA. Οι συνολικές απαιτήσεις κεφαλαίου για την πρώτη εφαρμογή εμπορικής κλίμακας είναι περίπου 4.400 \$/kW, με πρόβλεψη για το 2030 τα 2.500 \$/kW. Το κόστος του ηλιακού πεδίου προβλέπεται να μειωθεί από τα \$475 σε \$200 ανά εγκατεστημένο m². Η κατανομή του κόστους για τις συνιστώσες ή/και τα υποσυστήματα του ηλιακού πεδίου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.52.



Σχήμα 3.52. Κατανομή του κόστους για το πεδίο των συλλεκτών

Εάν στεφθεί με επιτυχία το Solar Two, η τεχνολογία του πύργου ισχύος θα βρεθεί στο κατώφλι της τεχνολογικής ετοιμότητας για εμπορικές εφαρμογές. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί κόστος ηλεκτροπαραγωγής μικρότερο των 0,2 \$/kWh για τις πρώτες εμπορικές εγκαταστάσεις. Πάντως, απαιτούνται περαιτέρω πρόοδοι όσον αφορά την κλιμάκωση των μεγεθών και την E&TA για συγκεκριμένα υποσυστήματα προκειμένου να μειωθεί το κόστος και να αυξηθεί η αξιοπιστία μέχρι το βαθμό που η τεχνολογία θα καταστεί μια ελκυστική οικονομική επένδυση.

Πολλά υποσχόμενες εργασίες βρίσκονται τελευταία υπό εξέλιξη στα ακόλουθα πεδία:

- Κλιμάκωση μεγέθους των συστημάτων: Θεωρητικά, για να είναι ανταγωνιστικός ένας πύργος ισχύος με την τεχνολογία των συμβατικών καυσίμων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερος του Solar Two. Ως ένας άλλος πιθανός τρόπος για την υποβοήθηση της διείσδυσης στην αγορά εξετάζονται επίσης τα υβριδικά σχήματα με ορυκτά καύσιμα, τα οποία απαιτούν μόνο ένα ενδιάμεσο μέγεθος μερικών δεκάδων MW. Τα πλεονεκτήματα μιας εγκατάστασης μειωμένου μεγέθους επιφέρουν κλιμακούμενο κίνδυνο και μειωμένη επένδυση κεφαλαίου.
- Ηλιοστάτες: Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί σχετικά λίγοι ηλιοστάτες και το κόστος τους είναι υψηλό (>250 \$/m²). Καθώς αυξάνεται η ζήτηση για ηλιακή ισχύ, θα αναπτυχθούν μέθοδοι μαζικής παραγωγής των ηλιοστατών οπότε θα μειωθεί σημαντικά το κόστος τους, καθόσον οι τιμές σχετίζονται άμεσα με τους ετήσιους ρυθμούς παραγωγής. Για μια υψηλή παραγωγή (της τάξης των 50.000 τεμ./έτος) μπορεί να επιτευχθεί μείωση του κόστους κατά ένα συντελεστή 3 έως 4.
- Δέκτης: Προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και να μειωθούν οι ανάγκες συντήρησης, απαιτούνται μικρότεροι και απλούστεροι δέκτες. Ήδη βρίσκεται σε

εξέλιξη η ανάπτυξη εξελιγμένων δεκτών και για τα δύο συνήθη ρευστά μεταφοράς της θερμότητας, δηλαδή για το τηγμένο άλας (καινούργια κράματα χάλυβα για τις σωληνώσεις του δέκτη) και τον αέρα (σχεδίαση νέου δέκτη ογκομετρικού αέρα).

- **Τηγμένο άλας:** Τα τηγμένα νιτρικά άλατα, παρόλο που αποτελούν ένα εξαιρετικό μέσο αποθήκευσης της θερμότητας, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα όταν χρησιμοποιούνται ως ρευστά λόγω της σχετικά υψηλής θερμοκρασίας τήξης τους (220°C). Για να διατηρηθεί τηγμένο το άλας πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα αρκετά σύνθετο σύστημα παρακολούθησης της θερμότητας. Ο κίνδυνος και, εν τέλει, τα κόστη Λ&Σθα μπορούσαν να μειωθούν μέσω σχεδιαστικών βελτιώσεων και της τυποποίησης.

Τελικά, καθώς ωριμάζει η σχετική τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής και αναπτύσσονται μεγαλύτεροι και πιο εξελιγμένοι σταθμοί, τα κόστη του ηλεκτρισμού θα καταστούν ανάλογα αυτών της ηλεκτροπαραγωγής καθαρά μεάνθρακα. Αυτό προκύπτει επίσης και από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα 3.6, όσον αφορά τους υφιστάμενους και τους προβλεπόμενους δείκτες απόδοσης και κόστους για την τεχνολογία του ηλιακού πύργου ισχύος.

Πίνακας 3.6. Δείκτες απόδοσης και κόστους για την τεχνολογία του πύργου ισχύος

	Μονάδες	Τεχνολογία Solar Two	Πρώτη εμπορική μονάδα	Τεχνολογία 2005	Τεχνολογία 2010	Τεχνολογία 2020
Μέγεθος εγκατάστασης	MW	10	30	100	200	200
Μέγεθος ηλιακού πεδίου	m ²	81 000	275 000	883 000	2 477 000	2 477 000
Δέκτης	MW	43	145	470	1 400	1 400
Ατμοστρόβιλος	MW	10	30	100	200	200
Θερμική αποθήκευση	ώρες	3	7	6	13	13
Ετήσιος συντελεστής δυναμικού	%	20	43	44	65	75
Συνολική Αποδοτικότητα	%	8,5	15	16	17	20
Συνολικό κόστος	€/KW	-	4350	3270	2700	2700

Υφιστάμενα Έργα

Οι επιδεικτικές δράσεις που σχετίζονται με την τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα των υβριδικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ηλιακού πύργου ισχύος (εγκαταστάσεις ISCCS) στην Ευρώπη είναι τόσο ουσιώδεις όσο αυτές των σταθμών ηλιακών κοίλων. Τα δύο έργα κεντρικού δέκτη (SOLGAS και Colon Solar) που χρηματοδοτούνται από την Ε.Ε. είχαν καθιερώσει μία στρατηγική διείσδυσης στην αγορά βασιζόμενη στην ενσωμάτωση 20MW_e κεκορεσμένου ατμού παραγόμενου από ηλιακή ενέργεια σ' ένα συμβατικό σταθμό που μετασκευάζεται σε μονάδα συνδυασμένου κύκλου με την προσθήκη ενός αεριοστροβίλου, τα οποία όμως δυστυχώς διακόπηκαν το 1998 μετά τη φάση της λεπτομερούς σχεδίασης τους για οικονομικούς λόγους.

Από την Ισπανική εταιρία ABENGOA προωθείται μία μονάδα πύργου ισχύος 10MW_e βασιζόμενη στον Γερμανικής τεχνολογίας δέκτη - αποθήκη θερμότητας ογκομετρικού αέρα PHOEBUS και σε χιλιάδες μονάδες ηλιοστατών γυαλιού-μετάλλου Ισπανικής κατασκευής, η οποία βασίζεται στη σχεδίαση Colon Solar διευρυμένη έως και 90 m² ανά μονάδα (Plantas Solar PS10 στο Sanlucar, Σεβίλλη - Νότια Ισπανία). Το 35% της επένδυσης για το έργο επιδοτήθηκε από το πρόγραμμα ENERGIE του 5^{ου} Π.Π. της Ε.Ε. στην προκήρυξη υποβολής προτάσεων του 1999, ενώ θα λάβει πίστωση βάσει του Ισπανικού Βασιλικού Διατάγματος. Έχει προγραμματιστεί να αρχίσει καθαρή ετήσια παραγωγή 20 GWh ηλεκτρισμού το 2002 και από αυτή αναμένεται να τεκμηριωθούν κόστη κεφαλαίου εγκατάστασης για τους σταθμούς ηλιακού πύργου της τάξης των €2.700/kWe.

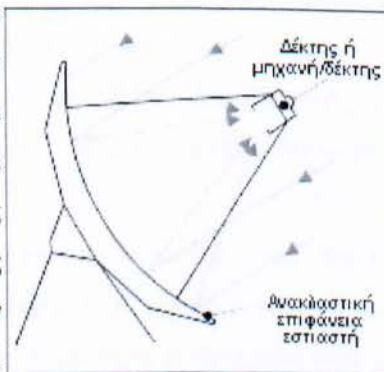
Ένα δεύτερο έργο μονάδας με πύργο ισχύος των 10 MWe αναπτύσσεται από έναν ισπανο-αμερικάνικο βιομηχανικό όμιλο που συστάθηκε από τις Ghersa, Boeing και Bechtel για μία πιθανή θέση στην Cordoba της Ισπανίας, η οποία βασίζεται στην αμερικανική τεχνολογία δέκτη και αποθήκευσης θερμότητας τηγμένου άλατος. Κύρια στοιχεία της εγκατάστασης είναι το μεγάλο μέγεθος της θερμικής αποθήκευσης τηγμένου άλατος, η οποία είναι αρκετά μεγάλη ώστε να επιτρέπει την εικοσιτετράωρη λειτουργία του σταθμού αποκλειστικά με ηλιακή ενέργεια, και η χρήση ενός νέου τύπου Ισπανικού ηλιοστάτη χαμηλού κόστους με μειωμένες διαστάσεις.

3.6.2.3. Εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής δίσκου/μηχανής

Παρούσα κατάσταση της τεχνολογίας των συστημάτων δίσκου

Ένας δίσκος συγκεντρώνει την άμεση ηλιακή ενέργεια σε ένα δέκτη στο εστιακό του σημείο, όπου απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως θερμότητα ή να υποστηρίξει χημικές διεργασίες, αλλά η συνηθέστερη εφαρμογή της είναι η ηλεκτροπαραγωγή. Η θερμική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί σε μία κεντρική γεννήτρια για μετατροπή ή μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρισμό με μία ενσωματωμένη στο δέκτη γεννήτρια.

Οι δίσκοι παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου σε δύο άξονες και, για το λόγο αυτό, είναι τα πιο αποδοτικά συστήματα συλλεκτών, καθώς είναι συνεχώς στραμμένα προς τον ήλιο. Οι λόγοι συγκέντρωσης κυμαίνονται συνήθως από 600 έως 2000 και μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες πάνω από 1.500°C. Το ιδανικό σχήμα για τον εστιαστή είναι το παραβολοειδές εκ περιστροφής.



Ορισμένοι ηλιακοί εστιαστές προσεγγίζουν το σχήμα αυτό με πολλαπλά κάτοπτρα σφαιρικής διαμόρφωσης στηριζόμενα σε ένα σκελετό από δοκούς ενίσχυσης.

Καινοτομία στη σχεδίαση των εστιαστών αποτελεί η χρήση τεταμένων μεμβρανών, κατά την οποία μία λεπτή ανακλαστική μεμβράνη τεντώνεται μέσω μιας στεφάνης ή ενός τσαταλιού, ενώ χρησιμοποιείται μια δεύτερη μεμβράνη για να κλείσει τον πίσω χώρο. Στο χώρο αυτό δημιουργείται μερικό κενό, δημιουργώντας έτσι ένα κατά προσέγγιση σφαιρικό σχήμα στην ανακλαστική μεμβράνη. Το κλάσμα ανάσχεσης, το οποίο ορίζεται ως το κλάσμα της ανακλώμενης ηλιακής ροής που διέρχεται μέσω του ανοίγματος του δέκτη, είναι συνήθως πάνω από 95%. Σε ονομαστική μέγιστη άμεση κάθετη ηλιακή ακτινοβολία 1 kW/m², ένα συγκεντρωτικό σύστημα δίσκου/Striling 25 kW έχει περίπου 10 μέτρα διάμετρο.

Μολονότι έχουν εξετασθεί για τα συστήματα που χρησιμοποιούν ενσωματωμένες στο δίσκο μηχανές τόσο οι μηχανές κύκλου Rankine όσο και οι κύκλου Brayton, αλλά και οι θερμικές μηχανές νατρίου, η προσοχή έχει στραφεί στα συστήματα μηχανής τύπου Stirling. Πάντως, ανταγωνισμός ανάμεσα στις μηχανές Stirling και Brayton είναι έντονος. Τα συστήματα δίσκου/μηχανής χαρακτηρίζονται από υψηλή αποδοτικότητα, πολυσυναρτησιακότητα, αυτονομία λειτουργίας, καθώς και από μία εγγενή υβριδική δυνατότητα (ικανότητα να λειτουργούν είτε με ηλιακή ενέργεια είτε με ορυκτό καύσιμο ή και με τα δύο μαζί).

Από όλες τις ηλιακές τεχνολογίες, ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό έχει αναφερθεί στα συστήματα δίσκου/μηχανής (29,4%), και για το λόγο αυτό έχουν το δυναμικό να καταστούν μία από τις λιγότερο ακριβές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Η πολυσυναρτησιακότητα των συστημάτων δίσκου/μηχανής επιτρέπει την αυτόνομη χρήση τους για απόμακρες εφαρμογές ή την ομαδοποίηση τους για εφαρμογές ηλεκτροδότησης σε μικρά δίκτυα ή απομονωμένα σημεία του δικτύου. Τα συστήματα δίσκου/μηχανής μπορούν επίσης να λειτουργούν υβριδικά με κάποιο συμβατικό καύσιμο ώστε να παρέχουν εμπορεύσιμη ισχύ.

Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται στο στάδιο της τεχνικής εξέλιξης και απομένουν κάποια προβλήματα προς επίλυση που αφορούν τις ηλιακές συνιστώσες και την εμπορική διαθεσιμότητα μιας τέτοιας μηχανής. Τα συστήματα δίσκου/μηχανής δεν διατίθενται αυτή τη στιγμή στο εμπόριο, παρά μόνο ως πρωτότυπα. Το σύστημα δίσκου/Stirling 25 kW που αναπτύχθηκε από την McDonnell Douglas Aerospace (MDA) στα μέσα της δεκαετίας του '80 αντιπροσωπεύει την τεχνολογία του έτους βάσης (1997).

Εάν στεφθούν με επιτυχία τα υφιστάμενα συντονισμένα εγχειρήματα δίσκου/μηχανής, τα συστήματα αυτά μπορεί να καταστούν εμπορικά διαθέσιμα εντός της επόμενης πενταετίας. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι, μία κοινοπραξία γερμανικών εταιρειών (Schlaich, Bergemann & Partner) σε συνεργασία με την Steinmuller (συστήματα συλλεκτών) και την SOLO Kleinmotoren (μηχανές Stirling) έχει αναπτύξει μία μονάδα 9-10 kW. Έξι τέτοιες μονάδες λειτουργούν επιτυχώς στην Ισπανία, από τις οποίες οι τρεις λειτουργούν με επιτυχία συνεχώς από το 1992 και συσσωρεύοντας λειτουργική εμπειρία άνω των 30.000 ωρών.

Όσον αναφορά τις επιδόσεις, η εταιρεία Southern California Edison λειτούργησε ένα σύστημα MDA σε καθημερινή βάση από το 1986 μέχρι το 1988. Κατά το τελευταίο έτος της λειτουργίας του επιτεύχθη ετήσια αποδοτικότητα 12%, παρόλη τη σημαντική μη διαθεσιμότητα του. Χωρίς τις διακοπές λειτουργίας, υπολογίζεται ότι επιτεύχθηκαν ηλιακές αποδοτικότητες μεγαλύτερες από 23%. Επομένως, μία ετήσια αποδοτικότητα της τάξης του 23% αποτελεί λογική πρόβλεψη για τα βραχυπρόθεσμα συστήματα.

Καθώς τα συστήματα δίσκου/μηχανής χρησιμοποιούν θερμικές μηχανές, έχουν την έμφυτη ικανότητα να λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Η χρήση του ίδιου εξοπλισμού μετατροπής της ισχύος σημαίνει ότι απαιτείται μόνο η προσθήκη ενός καυστήρα ορυκτού καυσίμου για να καταστεί δυνατή η υβριδική λειτουργία. Στα συστήματα δίσκου/Brayton η προσθήκη υβριδικής δυνατότητας είναι άμεση, ενώ δεν ισχύει το ίδιο στην περίπτωση των δίσκου/Stirling. Η αποδοτικότητα με βάση την ανωτέρα θερμογόνο δύναμη ενός συστήματος δίσκου/Brayton και ενός δίσκου/Stirling που λειτουργούν υβριδικά αναμένεται να είναι περίπου 30% και 33%, αντίστοιχα. Με την τεχνολογία MDA επιτεύχθηκε ένας ετήσιος συντελεστής δυναμικού 12,5%, ενώ λαμβάνοντας υπόψη την υβριδική δυνατότητα αναμένεται ένας ετήσιος συντελεστής δυναμικού 50%, που αντιστοιχεί σ' ένα ηλιακό κλάσμα 50%.

Δυνατότητες μείωσης του κόστους

Τα σημερινά κόστη κεφαλαίου εγκατεστημένου σταθμού μιας αρχικής αυτόνομης μονάδας 9-10 kW_e δίσκου/Stirling κυμαίνονται από 10.000 έως 14.000 Euro/kW_e, ενώ για τις βραχυπρόθεσμες μονάδες θα είναι 7.100 Euro/kW_e (με ρυθμό παραγωγής 100 μονάδων ανά έτος). Ο περισσότερο επικτός βραχυπρόθεσμος στόχος για το κόστος του ηλεκτρισμού είναι να πέσει κάτω από τα 0,15 Euro/kWh. Μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, τα συστήματα δίσκου/Stirling θα παρουσιάσουν δραστική μείωση στα κόστη εγκατεστημένου συστήματος, όπως προβλέπεται βάσει του αυξανόμενου αριθμού μονάδων δίσκου που θα παράγονται μαζικά.

Στόχος του Ευρωπαϊκού προγράμματος Euro-Dish είναι η μείωση του κόστους από τα €7.100/kW_e (100 μονάδες/έτος) σε €3.700/kW_e (1000 μονάδες/έτος), στη συνέχεια σε

€2.400/kWe (3000 μονάδες/έτος) και, τέλος, στα €1.600/kWe (10.000 μονάδες/έτος), αλλά όχι παρακάτω λόγω της εξαιρετικά πολυσυναρτησιακής τεχνολογίας. Η κατανομή του κόστους ενός συνήθους συστήματος δίσκου/μηχανής παρουσιάζεται στο σχήμα 3.53



Σχήμα 3.53. Κατανομή κόστους των συστημάτων δίσκου/μηχανής

Οι εμπειρικές τάσεις όσον αφορά τα κόστη των συστημάτων ηλιακού δίσκου δείχνουν μια δραστική μείωση του κόστους των εγκατεστημένων συλλεκτών τύπου δίσκου με την πάροδο του χρόνου: €1.250/m² (40 m² Shenandoah, ΗΠΑ 1982), €300/m² (91 m² MDAC, ΗΠΑ 1985), €200/m² (44 m² LaJet, ΗΠΑ 1986) και €150/m² (44 m² γερμανικοί δίσκοι τεταμένης μεμβράνης SBP, 1992). Το μεσο- και μακροπρόθεσμο κόστος των εγκατεστημένων συλλεκτών τύπου δίσκου προβλέπεται να κυμανθεί από 125 έως 105 €/m² για υψηλούς ρυθμούς παραγωγής.

Για τα συστήματα δίσκου πρέπει να αντιμετωπιστούν τα ακόλουθα επιμέρους βασικά τεχνικά ζητήματα για την ομαλή πορεία τους στην αγορά:

- Βελτιώσεις του ανακλαστήρα και του δέκτη του δίσκου, οι οποίες περιλαμβάνουν καλύτερες οπτικές ιδιότητες για τα κάτοπτρα, ελαφρότερα κάτοπτρα και δομές στήριξης, καλύτερα συστήματα ελέγχου, βελτιωμένους υβριδικούς δέκτες σωλήνα θερμότητας, ανάπτυξη αυτομάτου συστήματος για τον τηλεχειρισμό και τον εξ αποστάσεως έλεγχο.
- Βελτιώσεις του συστήματος με χρήση προσαρμοσμένων στις ηλιακές διεργασίες μηχανών Stirling και Brayton (αεριοστρόβιλος), με εξελιγμένους δέκτες σωλήνων θερμότητας και ογκομετρικού αέρα.
- Αποδεδειγμένα αξιόπιστη μακροπρόθεσμη λειτουργία των εξελιγμένων μονάδων δέκτη/μηχανής Stirling.

- Βελτιώσεις στην ικανότητα ενσωμάτωσης των συστημάτων με τη μείωση των παρασιτικών φορτίων, τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκίνησης, καλύτερες στρατηγικές ελέγχου και την υβριδική λειτουργία των μηχανών Stirling ή Brayton.

Υφιστάμενα έργα

Στην Ευρώπη, ένα πρώτο επιδεικτικό πρόγραμμα βιομηχανικού δίσκου/Stirling προς απόδειξη της ικανότητας συνεχούς λειτουργίας του λειτουργεί επιτυχώς στο PSA, με έξι προ-εμπορικές Γερμανικές μονάδες δίσκου/Stirling ονομαστικής ισχύος 9-10 kW_e (τρία συστήματα DISTAL I από το 1992 και τρία συστήματα DISTAL II από το 1997).

Τα συστήματα DISTAL I έχουν συμπληρώσει πάνω από 30.000 ώρες λειτουργίας συνολικά μέχρι σήμερα. Τελευταία αναπτύσσονται και δοκιμάζονται για να αποδειχθεί η αξιοπιστία του συστήματος πολλά υποσχόμενοι προηγμένοι τύποι δεκτών σωλήνα θερμότητας και κινητήρες Stirling.

Στα πλαίσια του προγράμματος E&TA EuroDish, με τη συγχρηματοδότηση της E.E., από το 1998 τελούν υπό δοκιμή στο PSA νέες μονάδες δίσκου/Stirling 9-10 kW_e, με στόχο τη μείωση του κόστους με την εξέλιξη των δομών για εμπορευματοποιημένα Ευρωπαϊκά συστήματα δίσκου-Stirling. Ένας ισπανικός όμιλος, σε συνεργασία με την κοινοπραξία SES, προωθούν μία μελέτη σκοπιμότητας και ένα μικρό επιδεικτικό έργο που χρησιμοποιεί μία μονάδα δίσκου/Stirling 25 kW_e της McDonnell Douglas (MDA) για εγκατάσταση στη Νοτιοανατολική Ισπανία.

Στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ τέθηκε σε λειτουργία για παρατεταμένες δοκιμές μία πρώτη βιομηχανική σειρά από πέντε αμερικάνικα πρωτότυπα συστήματα 25 kW_e δίσκου/ Stirling δεύτερης γενιάς, αλλά αυτά τα μεγάλα έργα αμερικανικών ηλιακών δίσκων (σχήμα 3.54) είναι πολύ πιθανό να περικοπούν ή να διακοπούν στο άμεσο μέλλον λόγω της μείωσης των δημόσιων κονδυλίων E&TA. Στη νότια Αυστραλία, από το 1994 τελεί υπό επιστημονική εξέταση στο Εθνικό Πανεπιστήμιο της Αυστραλίας ένα πρώτο πιλοτικό πειραματικό έργο "μεγάλου δίσκου" 400 m² με δυναμικό παραγωγής μέχρι 150 kW_{th}.



Σχήμα 3.54. Φωτογραφίες από συστήματα δίσκου/Stirling

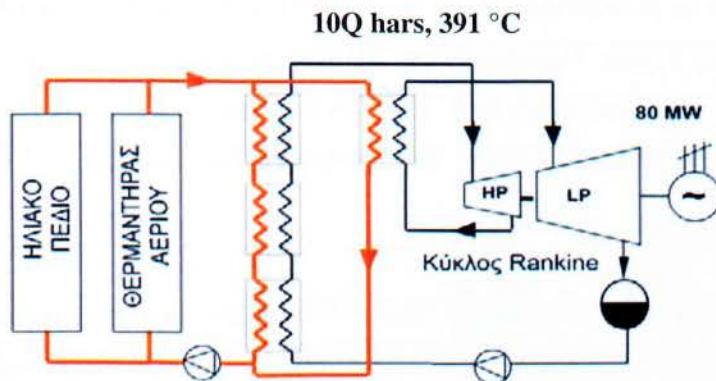
[Αριστερά: Δίσκος One Omnium G του SERI - Δεξιά: Κέντρο δοκιμών της Αριζόνας]

Ο δίσκος αυτός αποτελεί μία άλλη προσέγγιση στη φιλοσοφία των μικρών μονάδων που περιγράφηκε στα προηγούμενα, και έχει σχεδιαστεί για ηλεκτροπαραγωγή με τη χρήση μίας γεννήτριας ατμομηχανής 50 kW_e ή για εφαρμογές συμπαραγωγής. Αυτή τη στιγμή, η κυβέρνηση της Αυστραλίας χρηματοδοτεί ένα έργο ηλιακού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής 2,6 MWth αποτελούμενου από δεκαοκτώ τέτοιες μονάδες που θα εισάγουν ηλιακά παραγόμενο ατμό απευθείας στον ατμοστρόβιλο ενός υφιστάμενου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα, στο Newcastle της Νέας-Νότιας Ουαλίας. Μία αυστραλέζικη μονάδα δίσκου συλλεκτών έχει πουληθεί σε ένα ισραηλιτικό κέντρο ηλιακών δοκιμών στην έρημο Negev για να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα ηλιακών δοκιμών έρευνας και ανάπτυξης.

3.6.3. Περίπτωση εφαρμογής

Το δεύτερο ήμισυ της δεκαετίας του '80, ετέθησαν σε λειτουργία στην έρημο Mojave (νότια Καλιφόρνια) εννέα ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από 14 έως 80 MW, φθάνοντας συνολικά τα 354 MW, οι οποίοι και βρίσκονται ακόμα σε λειτουργία. Οι ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής τύπου SEGS της εταιρείας Luz χρησιμοποιούν ως κύριο καύσιμο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και, καθώς λειτουργούν με φυσικό αέριο ως βοηθητικό καύσιμο, δεν χρειάζονται κάποια μονάδα αποθήκευσης. Αυτές οι μονάδες χρησιμοποιούνται στην Καλιφόρνια για την κάλυψη της ζήτησης αιχμής. Η παραγωγικότητα τους είναι περίπου 400

kWh/m^2 συλλεκτικής επιφάνειας, το οποίο σημαίνει μια μέση ετήσια παραγωγή της τάξης των 170 GWh για μία μονάδα 80 MW.



Σχήμα 3.55. Σχηματική παράσταση του σταθμού SEGS IX

Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής SEGS IX που βρίσκεται στη λίμνη Harper αποτελεί τον πιο πρόσφατο σταθμό (80 MW) που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Luz, και παρουσιάζεται διαγραμματικά στο σχήμα 3.55. Ο σταθμός αυτός απαρτίζεται από διάφορες συνιστώσες, τα χαρακτηριστικά στοιχεία των οποίων παρουσιάζονται στο πίνακα 3.7, ειδικότερα:

- Ένα ηλιακό πεδίο, στο οποίο συνάζονται 888 συλλέκτες παραβολικού κοίλου LS3, προσανατολισμένοι στον άξονα βορά - νότου.
- Ένα θερμαντήρα φυσικού αερίου, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα θέρμανσης του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας παράλληλα με το ηλιακό πεδίο, όταν δεν μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας μόνο με το ηλιακό τμήμα. Αυτό συνήθως συμβαίνει αργά το απόγευμα ή τις νεφελώδεις ημέρες.
- Έναν ατμοπαραγωγό που τροφοδοτεί το στρόβιλο με υπέρθερμοατμό. Η απαιτούμενη θερμότητα λαμβάνεται από το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας μέσω εναλλακτών θερμότητας.
- Μία στροβιλογεννήτρια 80 MW η οποία τροφοδοτεί με ηλεκτρισμό το δίκτυο. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της είναι περίπου 30 έτη, μεημερήσιες εκκινήσεις και διακοπές.
- Χρησιμοποιούνται πύργοι ψύξης.

Ο σταθμός SEGS IX κατασκευάστηκε ώστε να παρέχει 250 GWh το χρόνο, το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 3000 ώρες λειτουργίας υπό ονομαστική ισχύ. Προκειμένου να υπάρξει όφελος από τα πλεονεκτήματα του νόμου PURPA (Νόμος Ρυθμιστικών Πολιτικών για τις Επιχειρήσεις Κοινής Ωφέλειας) των ΗΠΑ όσον αφορά τις ΑΠΕ, το 75% της παραγωγής πρέπει να προέρχεται από το ηλιακό τμήμα της εγκατάστασης. Χωρίς αποθήκευση ενέργειας, αυτή η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής λειτουργεί για την κάλυψη φορτίων αιχμής.

Πίνακας 3.7. Χαρακτηριστικά του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής SEGS IX

ΘΕΣΗ		
Τοποθεσία		Λίμνη Harper (Καλιφόρνια, 35°B)
Ετήσια άμεση κάθετη ακτινοβολία	kWh/m ²	2 727
Απαιτήσεις γαιών	ha	169
ΗΛΙΑΚΟ ΠΕΔΙΟ		
Αριθμός συλλεκτών LS3		888
Αριθμός μεμονωμένων κατόπτρων		198 912
Εμβαδόν ηλιακού πεδίου (φωτοφράκτης)	m ²	483 960
Θερμοκρασία εξόδου του ηλιακού πεδίου	°C	391
Ρευστό μεταφοράς θερμότητας		Διφαινύλιο / Οξειδίο Διφαινυλίου
Όγκος ρευστού	m ³	1 289
Όγκος δοχείου διαστολής	m ³	567
Αντλίες κυκλοφορίας του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας		
ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ LS3		
Επιφάνεια φωτοφράκτη	m ²	545
Αριθμός μεμονωμένων κατόπτρων		224
Πλάτος	m	5,76
Μήκος	m	95,2
Διάμετρος σωλήνα	m	0,07
Συντελεστής συγκέντρωσης		82

Μέση εστιακή απόσταση	m	2,12
Απόσταση μεταξύ δύο σειρών	m	17,3
Οπτική απόδοση		0,8
Ανακλαστικότητα κατόπτρων		0,94
Μεταδοτικότητα του σωλήνα		0,965
Εκπεμπτικότητα του σωλήνα στους 350 °C		0,19
Απορροφητικότητα του σωλήνα		0,96
Μέγιστη αποδοτικότητα συλλέκτη		0,68
Ετήσια θερμική αποδοτικότητα		0,49
ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ		
Μικτή ισχύς της στροβιλογεννήτριας	MW	89
Καθαρή ηλεκτρική ισχύς	MW	80
Ισχύς του θερμαντήρα φυσικού αερίου	MW	251
Παροχή του ατμοπαραγωγού	tons/h	357
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΣΤΡΟΒΙΛΟ		
Πίεση συμπύκνωσης	mbar	80
Ονομαστικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine - ηλιακή λειτουργία		0,338
Ονομαστικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine - λειτουργία με φυσικό αέριο		0,324

3.7. Γεωθερμική ενέργεια

3.7.1. Χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας

3.7.1.1. Βασικές αρχές της γεωθερμίας

Γεωθερμική ισχύς είναι η θερμική (αρχικά) και η ηλεκτρική (σε δεύτερο στάδιο) ισχύς που παράγεται από την περιεχόμενη στη Γη θερμική ενέργεια (γεωθερμική ενέργεια). Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας από θερμοδυναμικής πλευράς βασίζεται στη διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ μιας μάζας υπόγειου πετρώματος και νερού και μιας μάζας νερού ή

αέρα στην επιφάνεια της γης. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας επιτρέπει την παραγωγή θερμικής ενέργειας που μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα είτε να μετατραπεί σε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια.

Γενικά, οι θερμοκρασίες στη Γη αυξάνονται αυξανόμενου του βάθους, σε 200-1000°C στη βάση του φλοιού και πιθανώς μέχρι 3500-4500°C στο κέντρο της. Η θερμότητα που παράγει γεωθερμικές βαθμίδες προέρχεται από δύο πηγές, τη ροή θερμότητας από τον κατώτερο φλοιό και το μανδύα, και τη θερμική ενέργεια που παράγεται στον άνω φλοιό από τη ραδιενεργό διάσπαση ισοτόπων του ουράνιου, θορίου και καλίου. Εντούτοις, μερικά γρανιτικά πετρώματα στον άνω φλοιό έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ουράνιο και θόριο, παράγοντας έτσι αφύσικα μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας και αυξημένη ροή θερμότητας προς την επιφάνεια της γης.

Οι θερμικές βαθμίδες υπολογίζονται θεωρώντας ότι η θερμότητα κινείται προς την επιφάνεια της Γης μόνο με τη θερμική αγωγή μέσω στερεών πετρωμάτων. Εντούτοις, η θερμική ενέργεια μεταδίδεται επίσης προς την επιφάνεια με μετακίνηση τετηγμένων πετρωμάτων (μάγμα) και με την κυκλοφορία νερού μέσω επικοινωνούντων πόρων και ρωγμών. Αυτές οι διαδικασίες υπερθέτονται στις περιφερειακές βαθμίδες όπου επικρατεί η αγωγή και προκαλούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια της Γης. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες είναι οι βασικοί υποψήφιοι για γεωθερμική διερεύνηση και ανάπτυξη.

Η εμπορική διερεύνηση και ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας μέχρι σήμερα έχει εστιαστεί σε φυσικούς γεωθερμικούς ταμιευτήρες - όγκους πετρωμάτων με υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 350°C), αλλά και με υψηλό πορώδες (διάκενο πόρων, συνήθως γεμάτοι με νερό) και υψηλή περατότητα (δυνατότητα μεταφοράς ρευστού). Η θερμική ενέργεια αντλείται με γεωτρήσεις στους ταμιευτήρες. Η θερμότητα του πετρώματος μεταφέρεται με αγωγή στο ρευστό, το οποίο στη συνέχεια ρέει προς το φρέαρ και έπειτα προς την επιφάνεια της Γης.

Εντούτοις, οι φυσικοί γεωθερμικοί ταμιευτήρες αποτελούν ένα μικρό μόνο μέρος των άνω 10 km του γήινου φλοιού. Το υπόλοιπο αφορά πετρώματα με σχετικά χαμηλή περατότητα, η θερμική ενέργεια των οποίων δεν μπορεί να αντληθεί χωρίς την τεχνητή θραύση τους με

εκρηκτικές ύλες ή υδροβολή. Έχουν γίνει πειράματα που περιλαμβάνουν την τεχνητή θραύση θερμών πετρωμάτων και μπορεί κάποτε να αποδειχθεί οικονομικά εφικτή η εξαγωγή ενέργειας με την κυκλοφορία νερού μέσα από ένα δίκτυο τέτοιων τεχνητών καταγμάτων.

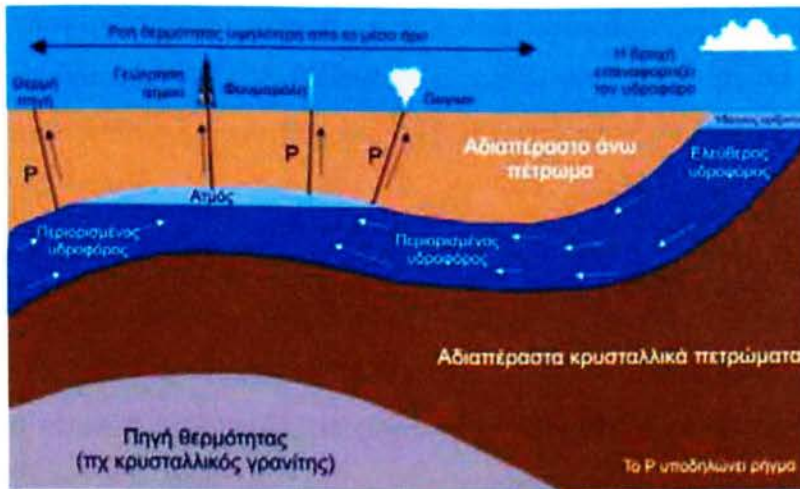
3.7.1.2. Γεωθερμικές πηγές

Υπάρχουν τέσσερις τύποι γεωθερμικών πηγών, πιο συγκεκριμένα οι υδροθερμικές, οι γεωπεπιεσμένες, τα θερμά ξηρά πετρώματα και το μάγμα. Από αυτές μόνο οι υδροθερμικές πηγές αξιοποιούνται εμπορικά προς το παρόν.

Υδροθερμικές πηγές

Όλοι οι ταμειυτήρες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για παραγωγή ηλεκτρισμού ονομάζονται υδροθερμικά συστήματα συναγωγής και τα χαρακτηρίζει η κυκλοφορία επιφανειακού νερού σε μικρά έως μέσα βάθη (100m έως 4,5km). Η κινητήρια δύναμη των συστημάτων αυτών είναι η βαρύτητα, δρούσα λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του κρύου νερού αναπλήρωσης που κινείται προς τα κάτω, και του ζεστού θερμικού νερού που κινείται προς τα πάνω. Τα υδροθερμικά συστήματα μπορεί να οδηγούνται είτε από ένα υποκείμενο νέο πυριγενές έγκλεισμα, είτε απλά από την κυκλοφορία του νερού σε βάθος μέσω ρωγμών και καταγμάτων.

Οι υδροθερμικές πηγές απαιτούν τρία βασικά συστατικά, ειδικότερα μια θερμική πηγή (π.χ. κρυσταλλωμένο μάγμα), έναν υδροφόρο ορίζοντα που περιέχει προσπελάσιμο νερό, και ένα στεγανό πέτρωμα που να σφραγίζει τον υδροφόρο ορίζοντα (σχήμα 3.56). Ηγεωθερμική ενέργεια αντλείται με τη διάτρηση του υδροφόρου ορίζοντα και την εξαγωγή του θερμού νερού ή ατμού. Οι υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικές πηγές (μεθερμοκρασίες από 180°C έως πάνω από 350°C) συνήθως θερμαίνονται από θερμό τηγμένο πέτρωμα, ενώ οι χαμηλής θερμοκρασίας πηγές (από 100 έως 180°C) μπορούν να δημιουργηθούν με οποιαδήποτε διαδικασία.



Σχήμα 3.56. Αναπαράσταση των κύριων χαρακτηριστικών μιας γεωθερμικής περιοχής [Πηγή: Boyle, 1998]

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση του ρευστού των πόρων, δύο είδη υδροθερμικών συστημάτων συναγωγής μπορούν να διακριθούν, συγκεκριμένα τα:

- υπερίσχυσης υγρού, στα οποία όλοι οι πόροι και οι ρωγμές γεμίζουν με υγρό νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλότερες από αυτή του βρασμού υπό ατμοσφαιρική πίεση, εξαιτίας της πίεσης του υπερκείμενου νερού, και
- υπερίσχυσης ατμού, όπου οι μεγαλύτεροι πόροι και ρωγμές είναι πλήρεις ατμού.

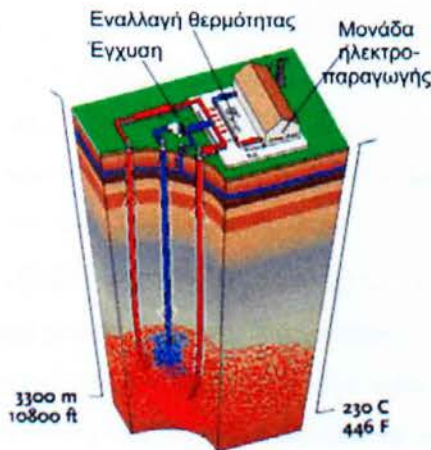
Οι ταμειυτήρες υπερίσχυσης υγρού παράγουν είτε νερό είτε μίγμα νερού και ατμού, ενώ οι ταμειυτήρες υπερίσχυσης ατμού παράγουν μόνο ατμό, ως επί το πλείστον υπέρθερμο. Οι φυσικοί γεωθερμικοί ταμειυτήρες εμφανίζονται και ως περιφερειακοί υδροφόροι ορίζοντες, όπως ο ασβεστόλιθος Dogger της λεκάνης του Παρισιού στη Γαλλία και οι ψαμμίτες της οροσειράς Pannonian της κεντρικής Ουγγαρίας.

Γεωπεπιεσμένες πηγές

Σε μερικές ταχέως καθιζάνουσες νέες ιζηματογενείς λεκάνες, όπως η βόρεια λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού, οι πορώδεις ψαμμίτες των ταμειυτήρων διαιρούνται από επεκτάσεις ρηγμάτων σε μεμονωμένους ταμειυτήρες σε βάθος περίπου 3-6km, όπου μπορεί η πίεση του ρευστού να υπερβαίνει αυτήν της στήλης ύδατος, πλησιάζοντας αυτήν του υπερκείμενου πετρώματος. Ο στεγανός σχιστόλιθος που περιβάλλει τον διαιρεμένο ψαμμίτη εμποδίζει τη διαφυγή του νερού των πόρων και η θερμοκρασία του κυμαίνεται μεταξύ 90 και 200°C.

Στους πεπιεσμένους ταμιευτήρες η ενέργεια δεν είναι μόνο θερμική, αλλά περιλαμβάνει ένα ίσο ποσό ενέργειας λόγω του διαλυμένου στο νερό μεθανίου (χημική ενέργεια), συν ένα μικρό ποσό μηχανικής/υδραυλικής ενέργειας λόγω των υψηλών πιέσεων των ρευστών.

Θερμά ξηρά πετρώματα



Σχήμα 3.57. Η τεχνολογία των θερμών ξηρών πετρωμάτων

Τα θερμά ξηρά πετρώματα (HDR) είναι ένας θερμαινόμενος γεωλογικός σχηματισμός που δημιουργείται με τον ίδιο τρόπο όπως οι υδροθερμικές πηγές, αλλά δεν περιέχει νερό αφού δεν υπάρχουν οι υδροφόροι ορίζοντες ή οι ρωγμές που απαιτούνται για να οδηγήσουν το νερό στην επιφάνεια (σχήμα 3.57). Το νερό αντλείται προς τα κάτω με μια γεώτρηση για να προκληθεί υδραυλική ρωγμή και να σχηματισθεί ταμιευτήρας. Έπειτα, το νερό κυκλοφορεί υπό πίεση μέσα στις ρωγμές απορροφώντας θερμότητα, πριν επανέλθει στην επιφάνεια μέσω ενός ή περισσότερων φρεατίων παραγωγής. Η πηγή αυτή είναι πρακτικά απεριόριστη και πιο προσιτή από τις υδροθερμικές πηγές.

Μάγμα

Το μάγμα, η μεγαλύτερη γεωθερμική πηγή, είναι τηγμένο πέτρωμα που βρίσκεται σε βάθη 3 - 10km και παραπάνω, και άρα δεν είναι προσπελάσιμο. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 700 έως 1200°C. Η πηγή αυτή δεν έχει ερευνηθεί καλά μέχρι σήμερα.

3.7.1.3. Γεωθερμικό δυναμικό

Η γεωθερμική ενέργεια, υπό την ευρύτερη έννοια, είναι η φυσική θερμότητα της γης. Η θεωρητικά κατάλληλη για άμεση εφαρμογή ανακτήσιμη θερμική ενέργεια εκτιμάται σε $2,9 \times 10^{24}$ Joule, δηλαδή 10000 φορές περίπου την υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως. Πάντως, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής βρίσκεται πολύ πιο κάτω από το βάθος των γεωτρήσεων, ακόμη και με τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμική ενέργεια έχει προς το παρόν ιδιαίτερο οικονομικό δυναμικό μόνο σε περιοχές όπου συγκεντρώνεται θερμό νερό ή ατμός σε βάθη μικρότερα των 3 km σε περιορισμένους όγκους, κατ' αναλογία με το πετρέλαιο στους εμπορικούς ταμιευτήρες πετρελαίου.

Η τεχνολογία των γεωτρήσεων για τα γεωθερμικά ρευστά είναι παρόμοια με αυτή του πετρελαίου. Εντούτοις, καθώς το ενεργειακό περιεχόμενο ενός βαρελιού πετρελαίου είναι πολύ μεγαλύτερο από μία ισοδύναμη ποσότητα θερμού νερού, οι οικονομικές απαιτήσεις για διαπερατότητα των διατάξεων και παραγωγικότητα των γεωθερμικών γεωτρήσεων είναι πολύ υψηλότερες απ' ό,τι για τις πετρελαιοπηγές. Τα γεωθερμικά φρέατα παραγωγής προς το παρόν έχουν βάθη συνήθως 2km, και σπάνια πάνω από 3km. Εκμεταλλεύσιμα γεωθερμικά συστήματα υφίστανται σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα.

Τα υψηλής θερμοκρασίας πεδία που χρησιμοποιούνται για συμβατική παραγωγή ισχύος (με θερμοκρασία πάνω από 150°C) κατά ένα μεγάλο μέρος περιορίζονται σε περιοχές με νέα ηφαιστειακή, σεισμική και μαγματική δραστηριότητα. Από την άλλη, χαμηλής θερμοκρασίας πηγές βρίσκονται στις περισσότερες χώρες, διαμορφούμενες από τη βαθιά κυκλοφορία του επιφανειακού νερού κατά μήκος των ρηγμάτων και των ρωγμών, και από νερό που βρίσκεται σε πετρώματα υψηλού πορώδους, όπως είναι οψαμίτης και ο ασβεστόλιθος, σε ικανοποιητικά βάθη ώστε να θερμαίνεται από τη γήινη γεωθερμική βαθμίδα. Πηγές θερμότητας σε θερμούς αλλά ξηρούς (χαμηλού πορώδους) σχηματισμούς πετρωμάτων βρίσκονται στις περισσότερες χώρες, αλλά δεν είναι ακόμα οικονομικά εκμεταλλεύσιμες

3.7.1.4. Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας

Αν και η γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης, η χρήση της είναι δυνατή μόνο όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες:

- Η ενέργεια πρέπει να είναι προσπελάσιμη μέσω γεωτρήσεων, συνήθως σε βάθη μικρότερα των 3 km αλλά ενδεχομένως και σε βάθη 6-7 km, σε ιδιαίτερα ευνοϊκά περιβάλλοντα (όπως στη βόρεια λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού).
- Εν αναμονή επίδειξης της τεχνολογίας και των οικονομικών για τη διάρρηξη και την παραγωγή ενέργειας από πετρώματα χαμηλής περατότητας, το πορώδες των ταμιευτήρων και η διαπερατότητα πρέπει να είναι αρκετά υψηλά ώστε να επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού.
- Δεδομένου ότι σημαντικό μέρος του κόστους μιας γεωθερμικής εγκατάστασης αφορά τη γεώτρηση και καθώς το κόστος ανά μέτρο αυξάνεται με το βάθος, όσο πιο ρηχά βρίσκεται συσσωρευμένη η γεωθερμική ενέργεια τόσο το καλύτερο.
- Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να μεταφερθούν οικονομικά με σωληνώσεις στην επιφάνεια της Γης μόνο για μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, οπότε οιαδήποτε εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής ή άμεσης χρήσης πρέπει να βρίσκεται στη (ή κοντά στη) γεωθερμική ανωμαλία.

Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συνήθως ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής.

Πίνακας 3.8. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας

<i>Θερμοκρασία ταμιευτήρα</i>	<i>Ρευστό ταμιευτήρα</i>	<i>Συνήθης χρήση</i>	<i>Τεχνολογία που συνήθως επιλέγεται</i>
Υψηλή θερμοκρασία ($> 220^{\circ}\text{C}$)	Νερό ή	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"> Ακαριαίος ατμός Συνδυασμένος κύκλος (ακαριαία ατμοποίηση & δυαδικός)
	ατμός	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> Άμεση χρήση ρευστού Εναλλάκτες θερμότητας Αντλίες θερμότητας
Ενδιάμεση θερμοκρασία ($100\text{-}220^{\circ}\text{C}$)	Νερό	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"> Δυαδικός κύκλος
		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> Άμεση χρήση ρευστού Εναλλάκτες θερμότητας Αντλίες θερμότητας
Χαμηλή θερμοκρασία ($50\text{-}150^{\circ}\text{C}$)	Νερό	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> Άμεση χρήση ρευστού Εναλλάκτες θερμότητας Αντλίες θερμότητας

Παραγωγή ηλεκτρισμού

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω διάφορων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους τους αντί του να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου διατίθενται πολλές εναλλακτικές πηγές για παραγωγή ηλεκτρισμού, περιλαμβανομένης της γεωθερμίας, αυτή προτιμάται καθώς δεν μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Επίσης, ο γεωθερμικός ατμός αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική λύση παραγωγής ηλεκτρισμού λόγω των περιβαλλοντικών οφελών και επειδή τα μεγέθη των μονάδων είναι μικρά (συνήθως κάτω των 100MW). Επιπλέον, οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να ανεγερθούν ταχύτερα από αυτούς που χρησιμοποιούν συμβατικά και πυρηνικά καύσιμα, οι οποίοι, για οικονομικούς λόγους, πρέπει να έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος. Εξάλλου, τα

ηλεκτρικά συστήματα είναι πιο αξιόπιστα εάν οι πηγές τροφοδοσίας τους δεν συγκεντρώνονται σε ένα μικρό αριθμό από μεγάλες μονάδες.

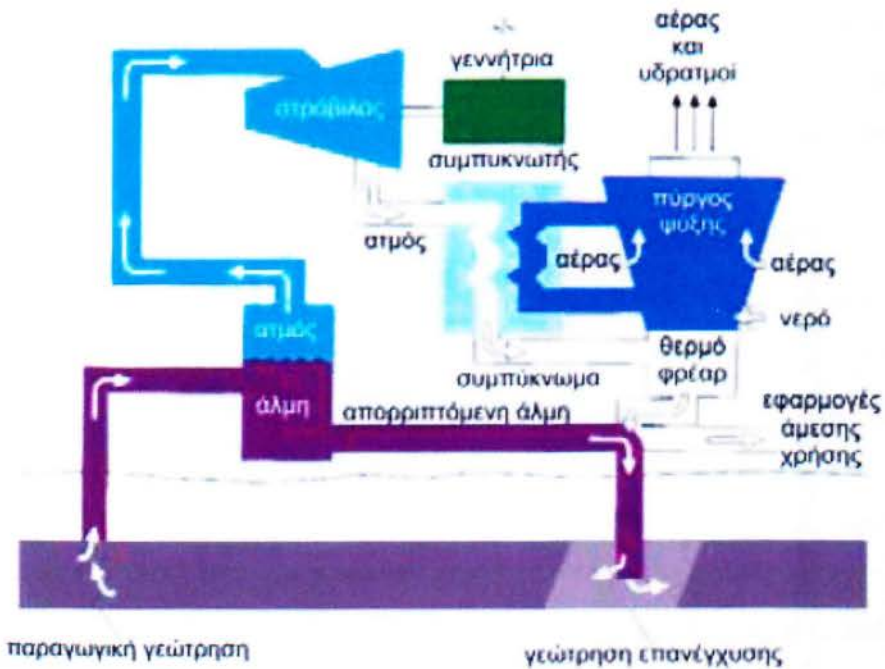
Η διεργασία που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής. Σχεδόν όλες οι πηγές που έχουν ήδη εξερευνηθεί είναι του υδροθερμικού τύπου (ζεστό νερό υπό πίεση), η εκμετάλλευση των οποίων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Εάν η θερμοκρασία της πηγής είναι κάτω από 204°C, το γεωθερμικό φρέαρ εξοπλίζεται με αντλία που δημιουργεί ικανή πίεση στη γεωθερμική άλμη ώστε να διατηρείται ως ζεστό νερό υπό πίεση. Για τις άνω των 204°C πηγές η καταλληλότερη μέθοδος παραγωγής είναι η φυσική ροή από το φρέαρ, η οποία αποφέρει ένα ακαριαία ατμοποιούμενο μίγμα άλμης και ατμού.

Άμεση χρήση

Εξίσου σημαντική παγκοσμίως είναι και η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, συχνά σε θερμοκρασίες ταμειυτήρων μικρότερες των 100°C. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για θέρμανση κτιρίων (ανεξάρτητες κατοικίες, συγκροτήματα διαμερισμάτων, μέχρι ολόκληρες κοινότητες), δροσισμό κτιρίων (με χρήση μονάδων απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου), θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφους, και για την παροχή ζεστού ή χλιαρού νερού για οικιακή χρήση, επεξεργασία προϊόντων (π.χ. την παραγωγή χαρτιού), καλλιέργεια οστρακοειδών και ψαριών, θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, και για θεραπευτικούς σκοπούς.

Οι γεωθερμικές πηγές παρέχουν σήμερα άμεσα αξιοποιήσιμη θερμική ισχύ πάνω από 12.000 MW σε περισσότερες από 30 χώρες παγκοσμίως. Οι κύριες θέσεις όπου γίνεται άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι η Ισλανδία (30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως για θέρμανση χώρων), η λεκάνη του Παρισιού (νερό ~70°C χρησιμοποιείται για την τηλεθέρμανση των κοινοτήτων Melun, Creil και Villeneuve la Garenne), και η λεκάνη Pannonian στην Ουγγαρία.

διαχωριστές για την απόληψη του ατμού από ένα αναβλύζον γεωθερμικό φρέαρ. Ειδικότερα, μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ακαριαίου ατμού (σχήμα 3.60) διοχετεύει το ζεστό νερό από ένα υδροθερμικά παραγωγικό φρέαρ σε μία δεξαμενή ακαριαίας ατμοποίησης, όπου μια πτώση στην πίεση μετατρέπει το νερό σε ατμό. Ο ατμός περιστρέφει τη στροβιλογεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό, κατόπιν συμπυκνώνεται και, με όσο ζεστό νερό δεν μετατράπηκε σε ατμό, επιστρέφει στον ταμιευτήρα μέσω μιας γεώτρησης επανέγχυσης.



Σχήμα 3.60. Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας ακαριαίου ατμού

Ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής, μπορεί να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν δύο στάδια δεξαμενών ακαριαίας ατμοποίησης. Στην περίπτωση αυτή, το νερό που διαχωρίζεται στη δεξαμενή του πρώτου σταδίου οδηγείται στη δεξαμενή ακαριαίας ατμοποίησης δεύτερου σταδίου όπου διαχωρίζεται περισσότερος (αλλά χαμηλότερης πίεσης) ατμός. Το νερό που απομένει στη δεξαμενή αυτή οδηγείται εν συνεχεία προς απόρριψη. Η επονομαζόμενη εγκατάσταση διπλής ακαριαίας ατμοποίησης παρέχει ατμό υπό δύο διαφορετικές πιέσεις στο στρόβιλο.

Για τη μέγιστη αποδοτικότητα της διαδικασίας αυτής χρησιμοποιείται ένας στρόβιλος διπλής εισόδου, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια του μεγαλύτερου μέρους του ατμού που διατίθεται για παραγωγή από το γεωθερμικό φρέαρ. Εάν η πηγή έχει υψηλό επίπεδο αιωρούμενων και διαλελυμένων στερεών, μπορεί να είναι

αναγκαία η ενσωμάτωση εξοπλισμού ελέγχου των επικαθήσεων στο δοχείο ακαριαίας ατμοποίησης του ατμού στην είσοδο της μονάδας και εξοπλισμού αποκατάστασης των στερεών στην έξοδο αυτής. Αυτό προφυλάσσει τον εξοπλισμό της μονάδας από απόφραξη και επιτρέπει τη διατήρηση ενός καθαρού υπόλοιπου άλμης για επανέγχυση στον ταμιευτήρα.

Εάν υφίστανται σημαντικές ποσότητες μησυμπυκνώσιμων αερίων, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση εξοπλισμού αποβολής των αερίων από το συμπυκνωτή για να μην αυξηθεί η αντίθλιψη στο σύστημα και, εξ αιτίας αυτού, να μειωθεί η απόδοση της διαδικασίας. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ακαριαίου ατμού συμπύκνωσης υφίστανται σε μεγέθη από 5 έως πάνω από 100 MWe. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ατμού, την περιεκτικότητα σε αέρια, τις πιέσεις, και το σχεδιασμό της μονάδας, απαιτούνται 6 έως 9 τόνοι ατμού ανά ώρα για να παραχθεί 1 MW ηλεκτρικής ισχύος.

Οι μικρές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής (κάτω των 10 MW) συνήθως καλούνται μονάδες κεφαλής της πηγής, καθώς χρειάζονται τον ατμό από ένα μόνο φρέαρ και εγκαθίστανται πλησίον αυτού στην εξέδρα της γεώτρησης για τη μείωση του κόστους των σωληνώσεων. Οι μονάδες αυτές συχνά δεν έχουν συμπυκνωτή και ονομάζονται μονάδες αντίθλιψης. Είναι φθηνές και απλές στην εγκατάσταση, αλλά μη αποδοτικές (συνήθως απαιτούνται 10-20 τόνοι ατμού ανά ώρα για κάθε MW ηλεκτρισμού) και μπορεί να έχουν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

3.7.2.4. Δυαδικός κύκλος

Μια πιο αποδοτική αξιοποίηση της πηγής μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της δυαδικής διαδικασίας σε πηγές μεθερμοκρασία μικρότερη από 180°C. Η διαδικασία αυτή κανονικά χρησιμοποιείται όταν γίνεται άντληση των φρεάτων, και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.61. Η υπό πίεση γεωθερμική άλμη αποδίδει τη θερμική της ενέργεια σε ένα δεύτερο ρευστό σε εναλλάκτες θερμότητας (καλούμενοι λέβητες ή εξατμιστές) και επανεισάγεται μέσω ενός φρεάτος εισαγωγής στον ταμιευτήρα. Σε μερικές μονάδες χρησιμοποιούνται δύο εναλλάκτες θερμότητας εν σειρά, ο πρώτος για προθέρμανση και ο δεύτερος για την εξάτμιση (εξατμιστής).

Η μόνη περίπτωση όπου έχει νόημα η εφαρμογή της θερμικής απόδοσης του κύκλου q_{th} στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής είναι οι δυαδικοί σταθμοί. Όμως, και τότε η θερμική απόδοση πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αξιολόγηση του κλειστού κύκλου που περιλαμβάνει το δευτερεύων ρευστό, και όχι της συνολικής λειτουργίας που περιλαμβάνει τη ροή του γεωθερμικού ρευστού από τα φρέατα παραγωγής μέσα από την εγκατάσταση και, τελικά, πίσω στο σύστημα απόρριψης. Η αποδοτικότητα αξιοποίησης η_u μετρά το πόσο καλά μία μονάδα μετατρέπει την εξέργεια (ή το διαθέσιμο έργο) της πηγής σε ωφέλιμη παραγωγή.

Η αποδοτικότητα αξιοποίησης ενός γεωθερμικού σταθμού είναι:

$$\eta_u = W/m e \quad (3.13)$$

όπου W είναι η καθαρή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, m η απαιτούμενη συνολική παροχή μάζας του γεωθερμικού ρευστού, και e η ειδική ενέργεια του ρευστού στις συνθήκες του ταμιευτήρα, η οποία ορίζεται ως εξής:

$$e = h(P_1, T_1) - h(P_0, T_0) - T_0[s(P_1, T_1) - s(P_0, T_0)] \quad (3.14)$$

Η ειδική ενθαλπία h και εντροπία s εκτιμώνται στις συνθήκες του ταμιευτήρα (P_i, T_i) και στην "αδρανή κατάσταση" (P_0, T_0). Αυτή αντιστοιχεί στις συνθήκες περιβάλλοντος στη θέση εγκατάστασης. Ως T_0 (σε βαθμούς Kelvin) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πράξη η θερμοκρασία σχεδιασμού υγρού βολβού, όταν εφαρμόζεται σύστημα υγρής ψύξης, ή θερμοκρασία σχεδιασμού ξηρού βολβού, για αερόψυκτο συμπυκνωτή.

Οι σταθμοί άμεσου ατμού λειτουργούν με εντυπωσιακές εξεργειακές αποδοτικότητες, συνήθως 50-70%, ενώ οι σταθμοί δυαδικού κύκλου παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος αποδόσεων (15-50%). Όλα αυτά αναφέρονται στη "μικτή" απόδοση μιας μονάδας, αλλά σε κάθε μονάδα υφίστανται ηλεκτρικά φορτία απαραίτητα για τη λειτουργία της (π.χ. για τους ανεμιστήρες, τις αντλίες και τα συστήματα ελέγχου), τα "παρασιτικά φορτία". Η "καθαρή" απόδοση του σταθμού περιλαμβάνει την κατανάλωση και αυτών των συσκευών για την εκτίμηση της απόδοσης του σταθμού από την άποψη της καθαρής παραγωγής ισχύος που διατίθεται στον ιδιοκτήτη προς χρήση ή πώληση.

3.7.2.7. Γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής για μικρά και μίνι δίκτυα

Μικροί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έως 100 kW, και συνήθως 1-5 MW, μπορούν να παρέχουν κατανεμημένη παραγωγή σε μεγάλα δίκτυα ή να αποτελούν μια σημαντική πηγή παραγωγής για μικρότερα δίκτυα ισχύος. Αν και επικρατεί η αντίληψη ότι οι γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής είναι σταθμοί βάσης που λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα για 365 ημέρες το έτος, αυτό δεν ισχύει πάντα. Πράγματι, οι σταθμοί αυτοί μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να ακολουθούν τη ζήτηση του φορτίου, όπως μπορεί να απαιτείται σε εφαρμογές μίνι δικτύων.

Οι μικρές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάζονται συνήθως με τη χρήση μιας πολυσυναρτησιακής προσέγγισης που μειώνει τις δαπάνες κατασκευής της μονάδας, και μπορούν να εγκατασταθούν δίπλα στις γεωτρήσεις, οπότε συνολικά το έργο έχει ελάχιστη περιβαλλοντική επίπτωση. Οι μονάδες αυτές έχουν διαδραματίσει ιδιαίτερο ρόλο στην ανάπτυξη και αποδοχή της γεωθερμίας. Ευκαιρίες για μικρά γεωθερμικά έργα υπάρχουν σε πολλές περιοχές του αναπτυσσόμενου κόσμου. Οι αγροτικές περιοχές έχουν πειστικές ενεργειακές ανάγκες και ο ηλεκτρισμός που παράγεται από μικρούς, τοπικούς γεωθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (με δυναμικό κάτω από 5MW) θα μπορούσε να καλύψει πολλές από αυτές.

Αυτού του είδους οι σταθμοί θα μπορούσαν να καλύψουν τις αγορές αυτές σχεδόν εξ ολοκλήρου σε χώρες όπου ισχυρές εθνικές ή περιφερειακές πολιτικές προωθούν την εφαρμογή τους. Πάντως, για τα έργα αυτά συχνά απαιτείται κάποια κυβερνητική παρέμβαση, καθώς αντιμετωπίζουν ειδικές οικονομικές και λειτουργικές προκλήσεις που σχετίζονται με το μικρό τους μέγεθος. Το κλειδί για την επιτυχία ενός μικρής κλίμακας γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι το να μην κατασκευάζεται μία υπερμεγέθης σε σχέση με τη ζήτηση μονάδα, και να διερευνάται πάντοτε η δυνατότητα ενσωμάτωσης ενός συστήματος άμεσης χρήσης του ζεστού νερού για τη βελτίωση των οικονομικών της μονάδας.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: Μίνι-δίκτυο (< 5MWe)

Θέση: Fang, Ταϊλάνδη (σχήμα 3.62)

Από το Δεκέμβριο του 1989, η Electricity Generating Authority (EGAT) της Ταϊλάνδης παράγει θερμικά ρευστά από τρεις αβαθείς γεωτρήσεις (βάθους 150 m) στη γεωθερμική περιοχή Fang, με παροχή περίπου 60 τόνους/ώρα (θερμοκρασία εισόδου 120°C). Αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε μία μονάδα ORMAT 0,3 MW_e (με 85-90% συντελεστή διαθεσιμότητας). Η προκαταρκτική οικονομική μελέτη έδειξε ότι το κόστος παραγωγής του ηλεκτρισμού είναι 6,3-8,6 c/kWh (τιμές 1995), θεωρώντας επιτόκιο 5% και συντελεστή δυναμικού 90%.

Περιγραφή : Επίσης, η EGAT εγκατέστησε μία παγολεκάνη κλιματισμού και ένα ξηραντήριο προϊόντων που χρησιμοποιούν το απορριπτόμενο από τη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ζεστό νερό (80°C) για να επιδείξει την κάθετη αξιοποίηση στον τοπικό πληθυσμό. Το τμήμα επεξεργασίας τροφίμων του Royal Recommended Project κατασκευάζει τελευταία ένα νέο μεγαλύτερο ξηραντήριο που θα χρησιμοποιεί τη γεωθερμική πηγή για τη συντήρηση προϊόντων. Παράλληλα, το εθνικό πάρκο Mae Fang κατασκεύασε ένα δημόσιο λουτρό και μία σάουνα για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη περιοχή Fang είναι επιτυχής, έστω και σε πολύ μικρή κλίμακα, και το έργο αυτό - γνωστό ως το πρώτο «πολυδύναμο έργο» στην Ταϊλάνδη - μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες γεωθερμικές πηγές.

Σύστημα: Η μονάδα ORMAT 300 kW είναι δυαδικού κύκλου. Ρευστό 120°C περνά από εναλλάκτη θερμότητας όπου θερμαίνει ένα ρευστό λειτουργίας με σημείο βρασμού μικρότερο από 100°C. Αυτό είναι ένα οργανικό ρευστό, y , : π.χ. ισοπεντάνιο, που ατμοποιείται και χρησιμοποιείται για την οδήγηση του στροβίλου, ενώ στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε ένα συμπυκνωτή κελύφους με σωληνώσεις. Τέλος, το ρευστό επιστρέφει στον εναλλάκτη και σχηματίζει κλειστό βρόχο. Το ψυγμένο ρευστό του ταμειυτήρα (80°C) χρησιμοποιείται για την παγολεκάνη κλιματισμού και το ξηραντήριο.



Σχήμα 3.62. Ο μικρός (300 kW) πολυσυναρτησιακός δυαδικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στο Fang (Ταϊλάνδη)

3.7.2.8. Διασυνδεδεμένοι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής

Οι γεωθερμικοί ταμειυτήρες υψηλής θερμοκρασίας μπορούν να παράσχουν ατμό για την άμεση οδήγηση αμοστροβίλων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Οι πρόσφατα αναπτυγμένες τεχνολογίες δυαδικού κύκλου παρέχουν τη δυνατότητα χρήσης του μεγαλύτερου μέρους της θερμότητας της πηγής για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ κερδίζει έδαφος και ο συνδυασμός της συμβατικής ακαριαίας ατμοποίησης με την τεχνολογία δυαδικού κύκλου (συνδυασμένος κύκλος). Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μεγέθους έως 100 MW συνδέονται στα εθνικά δίκτυα και χρησιμοποιούνται συνήθως ως μονάδες βάσης, λειτουργώντας υπό πλήρη ισχύ 365 ημέρες το χρόνο. Αυτός ο τύπος παραγωγής είναι διαδεδομένος στην Ινδονησία και τις Φιλιππίνες.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: Διασυνδεδεμένη ηλεκτροπαραγωγή

Θέση: Γεωθερμικό πεδίο Kamojang, Ιάβα, Ινδονησία (σχήμα 3.63)

Το γεωθερμικό πεδίο Kamojang βρίσκεται στη δυτική Ιάβα της

Περιγραφή: Ινδονησίας και ανακαλύφθηκε από τους Ολλανδούς το 1920, κατά

την περίοδο του αποικισμού. Η αρχική διερεύνηση έγινε το 1973 με τη συνεργασία των κυβερνήσεων της Ινδονησίας και της Νέας Ζηλανδίας. Ήταν το πρώτο επιχειρησιακό γεωθερμικό πεδίο της Ινδονησίας και λειτουργεί εμπορικά παράγοντας ηλεκτρισμό από το 1983 (την περίοδο αυτή παράγονται 140 MW_e). Το πεδίο βρίσκεται σε προστατευόμενο και παραγωγικό δάσος και σε δάσος-βιότοπο. Περιβαλλοντικές μελέτες δείχνουν ότι οι γεωθερμικές δραστηριότητες δεν είχαν καμία επίπτωση στο φυσικό οικοσύστημα.

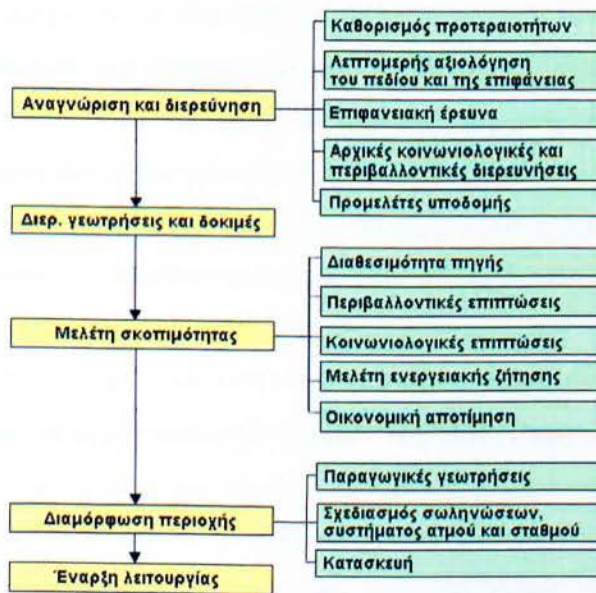
Σύστημα: Τρεις μονάδες στροβίλων συμπυκνώματος της Mitsubishi (1x30 MW_e και

2x55 MW_e) είναι σε χρήση. Αυτές τροφοδοτούνται μεατμό από 26 φρέατα με μέση βέλτιστη πίεση στην κεφαλή του φρέατος περίπου 15 bar (πίεση εισόδου στους στροβίλους 6,5 bar). Ο στρόβιλος των 30 MW λειτουργεί από το 1983 και οι μονάδες των 55 MW από το 1987. Η παραγωγή συνδέεται με μια γραμμή μεταφοράς 150 kV και αποδίδεται στο δίκτυο του Bandung. Οι στρόβιλοι εμφανίζουν υψηλή αξιοπιστία με μέσους συντελεστές ισχύος, διαθεσιμότητας και φορτίου 85%, 90% και 97,5% αντίστοιχα, παρότι κάθε στρόβιλος απαιτεί εκτεταμένη επισκευή κάθε χρόνο για την αφαίρεση από τα πτερύγια των επικαθίσεων πυριτίου. Μελέτες προσομοίωσης του ταμιευτήρα δείχνουν ότι το υφιστάμενο βεβαιωμένο δυναμικό έχει δυνατότητα παραγωγής 140 MW_e μέχρι το έτος 2021, που αντιστοιχεί σε ζωή 38 ετών για τη μονάδα I (30 MW) και 34 ετών για τις μονάδες II & III (50 MW κάθε μια).



Σχήμα 3.63. Η εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής του γεωθερμικού πεδίου Kamojang στην Ιάβα (Ινδονησία)

3.7.3. Διαδικασία ανάπτυξης των έργων γεωθερμικής ισχύος



Σχήμα 3.64. Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάπτυξης των γεωθερμικών έργων

Όπως συμβαίνει με όλα τα μεγάλα μεγέθους έργα, τα σχετικά μετγεωθερμικά έργα αναπτύσσονται ακολουθώντας μία σειρά λογικών σταδίων, τα οποία συνοψίζονται στο διάγραμμα ροής του σχήματος 3.64. Κανονικά, οι αποφάσεις για τη μετάβαση στα επόμενα στάδια λαμβάνονται σταδιακά καθ' όλη την πορεία του έργου.

3.7.3.1. Αναγνώριση και διερεύνηση

Οι γεωθερμικές πηγές συνήθως εντοπίζονται και καθορίζονται από ένα κλιμακούμενο πρόγραμμα εντατικότερης (και πιο δαπανηρής) διερεύνησης που οδηγεί τελικά σε μία σειρά γεωτρήσεων για να περιγραφεί με βεβαιότητα η πηγή. Από τις αναγνωριστικές έρευνες θα προσδιοριστούν οι καταλληλότερες πιθανές περιοχές με την αναγνώριση του ευνοϊκού γεωλογικού τοπίου και τον εντοπισμό οιασδήποτε θερμών πηγών ή άλλης θερμικής επιφανειακής εκδήλωσης. Οι αναγνωριστικές μελέτες περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση κάθε θερμής πηγής ή άλλων επιφανειακών θερμικών ιδιομορφιών και τον προσδιορισμό των ευνοϊκών γεωλογικών δομών.

Ηχημική σύσταση των εκβαλλόμενων ρευστών αποκαλύπτει πληροφορίες για τον βαθύτερο ταμιευτήρα, π.χ. για τη θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά του ρευστού. Οι γεωλογικές μελέτες παρέχουν πληροφορίες για την πιθανή κατανομή και έκταση των υδροφόρων οριζόντων, καθώς και για το πιθανό καθεστώς της θερμικής πηγής και της ροής θερμότητας. Οι περιοχές που προσδιορίζονται ως έχουσες υψηλό δυναμικό ή ευνοούνται λόγω της εγγύτητας τους σε κάποιο κέντρο χρήσης της ενέργειας θα διερευνηθούν με πιο αναλυτικές επιστημονικές μεθόδους.

Πέρα από τις λεπτομερείς γεωλογικές και γεωχημικές μελέτες, μπορεί να εφαρμοσθεί μία σειρά γεωφυσικών τεχνικών περιλαμβανομένων των ερευνών ειδικής αντίστασης, βαρύτητας και μαγνητισμού. Η διερεύνηση της ειδικής αντίστασης, ειδικότερα, μπορεί να εντοπίσει ανωμαλίες άμεσα συνδεόμενες με την παρουσία γεωθερμικών ρευστών. Ηερμηνεία όλων αυτών των μελετών οδηγεί στον καθορισμό προτεραιοτήτων για τους στόχους των προγραμμάτων ερευνητικών γεωτρήσεων. Με την εφαρμογή της ενδεδειγμένης επιστημονικής μεθόδου και ανάλυσης κατά τις αρχικές αυτές φάσεις αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχίας των επακόλουθων γεωτρήσεων και αναπτύξεων.

Εάν από τη διερεύνηση προκύψουν πολύ καλές ενδείξεις για την παρουσία χρήσιμου θερμικού ταμιευτήρα, η πηγή εξετάζεται με τη διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων έτσι ώστε

να μπορέσουν να μετρηθούν οι πραγματικές υπεδάφειες θερμοκρασίες και να δοκιμαστεί η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα. Συνεπώς, το πρόγραμμα διερεύνησης πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αναδειχθεί τελικά ο αναμενόμενος τύπος της πηγής, η ποσότητα της ενέργειας που αναμένεται να παραχθεί από το έργο και το χρονικό πλαίσιο της ανάπτυξης.

Εξάλλου, πολλά γεωθερμικά πεδία με προοπτικές βρίσκονται σε μακρινές θέσεις και συχνά σε ενεργές ηφαιστειακές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι απαιτήσεις για υποδομές μπορεί να είναι μεγάλες και, πιθανότατα, δαπανηρές. Σ' αυτές μπορεί να περιλαμβάνονται έργα οδοποιίας, γέφυρες, λιμενικές εγκαταστάσεις και επικοινωνίες, ενώ, εάν υλοποιηθεί το έργο, εν συνεχεία οι δαπάνες δικτύωσης για τη διανομή της ισχύος μπορεί να είναι πολύ υψηλές.

3.7.3.2. Διερευνητική γεώτρηση

Τα αποτελέσματα των διάφορων διερευνητικών γεωλογικών δραστηριοτήτων που περιγράφονται παραπάνω, στην πλειοψηφία των έργων ανάπτυξης της γεωθερμίας οδηγούν σε μια φάση διερευνητικών γεωτρήσεων. Τα γεωθερμικά φρέατα, είτε είναι διερευνητικά είτε παραγωγικά, διανοίγονται με τη χρήση τεχνολογιών περιστροφικής γεώτρησης που έχουν υιοθετηθεί κατά μεγάλο μέρος από τη βιομηχανία πετρελαίου, και σε μικρότερη κλίμακα από τις έρευνες για νερό και ορυκτά. Οι τεχνολογίες αυτές τροποποιούνται ώστε να αντεπεξέρχονται στις σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες και τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών πετρωμάτων που απαντώνται.

Συνήθως, τα γεωθερμικά φρέατα διανοίγονται σε βάθη που κυμαίνονται από 200 έως 1500m για τα πεδία χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας, και από 700 έως 3000m περίπου βάθος για τα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Οι γεωτρήσεις διανοίγονται με γεωτρώπανο σε μία σειρά από στάδια, όπου το κάθε στάδιο έχει μικρότερη διάμετρο από το προηγούμενο, και καθένα από αυτά κλείνεται με χαλύβδινα πλαίσια, τα οποία τσιμεντάρονται επί τόπου πριν τη διάνοιξη του επόμενου σταδίου. Το τελικό τμήμα/τα της γεώτρησης κλείνεται με ένα μη-τσιμενταρισμένο διάτρητο χιτώνιο. Η διάταξη μιας τυπικής γεωθερμικής γεώτρησης μπορεί να είναι κατακόρυφη (ευθεία) ή κεκλιμένη.

Στόχος αυτής της φάσης είναι να αποδειχθεί η ύπαρξη μιας εκμεταλλεύσιμης πηγής και να προδιαγραφούν η έκταση και τα χαρακτηριστικά της. Ένα πρόγραμμα διερευνητικών γεωτρήσεων μπορεί να περιλάβει φρέατα αβαθούς θερμοκρασιακής κλίσης, φρέατα διερεύνησης "λεπτής οπής", και παραγωγικού μεγέθους φρέατα διερεύνησης. Ο αριθμός και ο τύπος των γεωτρήσεων που θα περιληφθούν σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα καθορίζονται από το μέγεθος και το στόχο του έργου.

Τα φρέατα θερμοκρασιακής κλίσης διανοίγονται με τρυπάνια συχνά σε βάθη που κυμαίνονται από 2 έως 200m (σε σπάνιες περιπτώσεις μέχρι 500m βάθος) και με διάμετρο από 50 έως 150mm. Τα φρέατα διερεύνησης κυμαίνονται από 200 έως 3000m βάθος, με διάμετρο τελικής οπής από 100 έως 220mm. Τα φρέατα αυτά πρέπει να διανοίγονται με μια εξέδρα γεώτρησης πλήρως εξοπλισμένη ώστε να λειτουργεί υπό τις συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης της πηγής.

Η στρατηγική των διερευνητικών γεωτρήσεων περιλαμβάνει τη διάνοιξη τριών έως πέντε φρεάτων, ανάλογα με το μέγεθος του προγραμματισμένου έργου. Τα συνήθη κόστη των φρεάτων "λεπτής οπής" κυμαίνονται από \$250 έως \$1000 ανά μέτρο βάθους, δηλαδή απαιτείται ποσό \$450.000 έως \$1.000.000 για ένα φρέαρ με βάθος 1500m. Στα μεγαλύτερα έργα τα φρέατα διανοίγονται κάθετα ή με εκτροπή της κατεύθυνσης από επιμέρους εξέδρες γεώτρησης, ενώ τα μικρότερα έργα μπορεί να χρησιμοποιούν μία εξέδρα γεώτρησης και φρέατα με εκτροπή της κατεύθυνσης.

3.7.3.3. Μελέτη σκοπιμότητας

Οι λεπτομερείς αποτιμήσεις της πηγής και οι μελέτες σκοπιμότητας ενοποιούν τις πληροφορίες από τις έρευνες επιφανείας και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων ώστε να εκτιμηθεί η βιώσιμη παραγωγική ικανότητα ενός ταμειυτήρα με τη χρήση της υφιστάμενης τεχνολογίας ανάπτυξης. Άλλες μελέτες περιλαμβάνουν εκτιμήσεις:

- των δαπανών για υποδομές,
- της ζήτησης ισχύος,
- του κόστους των σχετικών με την προετοιμασία της θέσης, την εγκατάσταση και την εκκίνηση της λειτουργίας εργασιών μηχανικού,

- των σχετικών περιβαλλοντικών και κοινωνιολογικών προγραμμάτων και δαπανών,
- των απαιτούμενων οδών, κτηρίων και υπηρεσιών,
- της διαδικτύωσης και σύνδεσης με τα δίκτυα.

Εξάλλου, στη φάση αυτή πρέπει να λάβει χώρα ο προκαταρκτικός σχεδιασμός των συστημάτων και των σωληνώσεων συλλογής του ατμού, αλλά και να γίνει η επιλογή της τεχνολογίας, του μεγέθους και της σχεδίασης του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Το κόστος των γεωθερμικών εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής βαρύνεται πολύ με τις αρχικές δαπάνες. Η διάνοιξη των φρεάτων και η κατασκευή των σωληνώσεων αρχίζουν πριν από την κατασκευή της μονάδας, ενώ για το σχεδιασμό του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι αναγκαία η πληροφορία για την πηγή από τη γεώτρηση.

Η τελική ανάπτυξη του πεδίου ολοκληρώνεται μαζί με τη μονάδα. Οι σχετικές με την κατασκευή και λειτουργία ενός γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής δαπάνες ποικίλλουν ευρέως και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι:

- ο τύπος της πηγής (ατμός ή ζεστό νερό),
- η θερμοκρασία της πηγής,
- η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα,
- το μέγεθος της εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής (διαβάθμιση),
- ο τύπος της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής (μονοβάθμιας ακαριαίας ατμοποίησης, δυαδικού κύκλου, κλπ.),
- οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί,
- το κόστος του κεφαλαίου,
- το κόστος των εργατικών.

Οι τρεις πρώτοι παράγοντες επηρεάζουν τον αριθμό των γεωτρήσεων που πρέπει να διανοιχτούν για μια δεδομένη ισχύ της εγκατάστασης. Με βάση τις συνήθεις δαπάνες και το δυναμικό ισχύος των παραγωγικών γεωτρήσεων, μία μόνο γεώτρηση μπορεί να κοστίσει \$100-400/kW. Οι επόμενοι τρεις παράγοντες καθορίζουν το κόστος του συστήματος μετατροπής της ενέργειας, και οι δύο τελευταίοι το κόστος λειτουργίας της μονάδας, δηλ. την εξόφληση των οφειλών και τη λειτουργία και συντήρηση (Λ&Σ). Ο πίνακας 3.9

συνοψίζει την επίδραση της ονομαστικής ισχύος και της θερμοκρασίας της πηγής στο κόστος του σταθμού για τις μικρού μεγέθους δυαδικές μονάδες.

Πίνακας 3.9. Κόστη κεφαλαίου και Λ&Σ για μικρές γεωθερμικές μονάδες δυαδικού κύκλου (1993\$)

[Πηγή: DiPippo, 1998]

Καθαρή ισχύς (kW)	Θερμοκρασία πηγής (°C)			Συνολικό κόστος Λ&Σ (\$/έτος)
	100	120	140	
	Κύριο κόστος (\$/kW)			
100	2.535	2.210	2.015	19.100
200	2.340	2.040	1.860	24.650
500	2.145	1.870	1.705	30.405
1.000	1.950	1.700	1.550	44.000

Οι δαπάνες κεφαλαίου ανά kW μεταβάλλονται αντιστρόφως προς τη θερμοκρασία και την ονομαστική ισχύ, ενώ οι ετήσιες δαπάνες Λ&Σ (οι οποίες κυμαίνονται από 1,5 έως 4,5 cents ανά παραγόμενη kWh) αυξάνονται με την ονομαστική ισχύ αλλά δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του ρευστού (στο παρουσιαζόμενο εύρος). Αυτές οι δαπάνες είναι ευμενείς όταν συγκρίνονται με αυτές των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και είναι απολύτως ευμενείς για τις απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται συνήθως από ντιζελομηχανές.

Οι δαπάνες Λ&Σ για τις γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής εξαρτώνται επίσης από τη συμβατική τιμή του ηλεκτρισμού. Δηλαδή, η υψηλότερη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά σημαντικό το να παραμένει εν λειτουργία ο σταθμός όσο το δυνατό πλησιέστερα στο 100% του χρόνου, και τότε δικαιολογούνται οι υψηλότερες δαπάνες συντήρησης. Οι περισσότερες γεωθερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής έχουν συντελεστή διαθεσιμότητας άνω του 90% (δηλ. μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό πάνω από το 90% του χρόνου), αλλά όταν οι συντελεστές διαθεσιμότητας ανέρχονται στο 97 ή 98% μπορεί αυτές να είναι πολύ πιο δαπανηρές.

Οι τρεις πιο βασικές παράμετροι όσον αφορά το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι το μέγεθος της εγκατάστασης, η θερμοκρασία της πηγής και το βάθος του παραγωγικού φρέατος. Προφανώς, το κόστος αυτό μειώνεται με την αύξηση των τιμών των πρώτων δύο από τις ανωτέρω παραμέτρους, ενώ αυξάνεται (σχεδόν γραμμικά) με την αύξηση του βάθους του παραγωγικού φρέατος. Στον πίνακα 3.10 παρουσιάζεται το σύνθηες

κόστος της μονάδας ισχύος από γεωθερμικούς σταθμούς, βάσει ενός προεξοφλητικού επιτοκίου 10% και για συντελεστή δυναμικού 90% (για έργα που κατασκευάζονται σε αναπτυσσόμενες χώρες).

Πίνακας 3.10. Κόστος της μονάδας ισχύος (σε cents/kWh) από τρεις κύριους τύπους γεωθερμικών μονάδων

	Πηγή Υψηλής Ποιότητας	Πηγή Μέτριας Ποιότητας	Πηγή Χαμηλής Ποιότητας
Μικρές μονάδες (<5 MW)	5,0 - 7,0	5,5 - 8,5	6,0 - 10,5
Μέσες μονάδες (5-30 MW)	4,0 - 6,0	4,5 - 7,0	Μη κατάλληλη
Μεγάλες μονάδες (>30 MW)	2,5 - 5,0	4,0 - 6,0	Μη κατάλληλη

Με το μοναδιαίο κόστος παραγωγής από ντίζελ να κυμαίνεται από 10 μέχρι και 20 cents/kWh, η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί πολύ ελκυστική επιλογή, ειδικά για τις απομακρυσμένες εκτός δικτύου περιοχές και τα μικρά νησιά, όπου η παραγωγή από ντίζελ είναι συχνά η μόνη λύση. Εξάλλου, μπορεί να είναι ελκυστική η άμεση χρήση του απορριπτόμενου από την ηλεκτροπαραγωγή νερού χαμηλής θερμοκρασίας και είναι προς όφελος της ανάπτυξης ολόκληρης της μονάδας η δυνατότητα αυτή να εκτιμηθεί σε αρχικό στάδιο, ώστε η όποια ρύθμιση να μπορέσει να ενσωματωθεί στα σχέδια των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας-ατμού του πεδίου.

3.7.3.4. Ανάπτυξη

Παραγωγική γεώτρηση

Ως απόληξη μιας επιτυχούς φάσης διερεύνησης, μπορεί να αναληφθεί άμεσα ή μετά από την ολοκλήρωση μιας πιο μακροπρόθεσμης περιόδου δοκιμών της πηγής και μελετών σκοπιμότητας η δέσμευση ανάπτυξης μιας αρχικής φάσης παραγωγής ενός έργου. Θα αναπτυχθεί μία στρατηγική παραγωγικών γεωτρήσεων με βάση το φρέαρ διερεύνησης και δεδομένα της πηγής, από την οποία θα προκύψουν οι θέσεις των γεωτρήσεων, οι κατατομές των οπών και των πλαισίων, και μια αλληλουχία για τις γεωτρήσεις. Οι θέσεις των

γεωτρήσεων διατάσσονται έτσι ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ των φρέατων και συνήθως είναι τέτοιες ώστε οι παραγωγικές ζώνες κάθε φρέατος να διαχωρίζονται από μία απόσταση 300 έως 500m.

Προφανώς απαιτούνται πλήρως εξοπλισμένες για γεωθερμική παραγωγή εξέδρες γεώτρησης διαστασιοποιημένες στο μέγεθος του παραγωγικού φρέατος. Η σχεδίαση των παραγωγικών φρέατων και η διαδικασία γεώτρησης είναι παρόμοιες με αυτές που υλοποιούνται κατά τη διερευνητική φάση του έργου, όπως περιγράφηκε ήδη. Εντούτοις, στην περίπτωση όπου αντιμετωπίζονται πολύ υψηλές διαπερατότητες του ταμιευτήρα, μπορεί να απαιτούνται φρέατα μεγάλης διαμέτρου. Η διάνοιξη τέτοιων φρέατων είναι συνήθης σε ταμιευτήρες όπου υπερισχύει ο ατμός, όπως είναι το γεωθερμικό πεδίο Darajat στην Ινδονησία.

Το κόστος των παραγωγικών γεωτρήσεων είναι σε γενικές γραμμές το ίδιο με αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω για τα φρέατα διερεύνησης/παραγωγής, εντούτοις είναι σύνηθες να υπεισέρχεται κάποια μείωση σ' αυτά τα κόστη καθώς αποκτάται εμπειρία σε κάθε πεδίο. Η διάνοιξη ενός παραγωγικού φρέατος μεγάλης διαμέτρου συνήθως είναι περίπου 20% πιο ακριβή από ενός φρέατος τυποποιημένου μεγέθους. Ανάλογα με τη φύση της πηγής, θα απαιτηθεί επίσης ένας αριθμός φρέατων επανέγχυσης.

Σχεδίαση του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής

Από μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των μελετών των πηγών, των περιβαλλοντικών και κοινωνιολογικών επιπτώσεων, του δυναμικού παραγωγής και της ζήτησης ισχύος σχεδιάζεται μια κατάλληλα διαστασιοποιημένη εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής. Στη σχεδίαση, η οποία πέραν του σταθμού περιλαμβάνει ακόμη τις σωληνώσεις και τα συστήματα συλλογής του ατμού, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, όπως η θερμοκρασία της πηγής, ηχημεία και η περιεκτικότητα σε αέρια του ρευστού, και το κατάλληλο μέγεθος της μονάδας. Οι μεταβλητές σχεδίασης βελτιστοποιούνται για να εξασφαλιστεί ότι οι σχεδιαστικές λύσεις που επιλέγονται είναι οι πιο οικονομικά αποτελεσματικές και ενεργειακά αποδοτικές.

Κατασκευή και εκκίνηση λειτουργίας

Ένα γεωθερμικό έργο μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Παραδοσιακά, τα γεωθερμικά έργα αναπτύσσονταν μέσω ενός αριθμού ξεχωριστών συμβάσεων κατασκευής και προμήθειας, ενώ το σχεδιασμό και τη διαχείριση τους αναλάμβαναν σύμβουλοι μηχανικοί. Τελευταία, η τάση είναι να εφαρμόζεται η μέθοδος της ολοκληρωμένης μελέτης και εκτέλεσης ("με το κλειδί στο χέρι"). Τα πλεονεκτήματα της είναι ότι παρέχει μεγαλύτερο περιθώριο για καινοτομία στους προμηθευτές, μειώνει τους κινδύνους υπέρβασης του κόστους και, το πιο σημαντικό, αποδίδει την ευθύνη και την υπαιτιότητα για την απόδοση της μονάδας σε μία οντότητα.

Συχνά, αυτός ο τύπος μεθόδου υλοποίησης είναι επωφελής, καθώς δύναται να προσελκύσει χρηματοδότηση για το έργο. Ένα παράδειγμα χρηματοδοτούμενου γεωθερμικού έργου που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο υλοποίησης με πολλαπλές συμβάσεις είναι ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στο Kamojang της δυτικής Ιάβας (βλ. περίπτωση εφαρμογής). Πάντως, οι πιο πρόσφατες γεωθερμικές αξιοποιήσεις στην Ινδονησία, όπως στο Salak και το Wayang Windu, έχουν κατασκευαστεί με χρήση της μεθόδου ολοκληρωμένης μελέτης και εκτέλεσης.

3.7.4. Πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας

3.7.4.1. Παγκόσμια κατανομή της γεωθερμικής χρήσης

Οι άνθρωποι έχουν χρησιμοποιήσει τη γεωθερμική ενέργεια για πολλούς αιώνες σε εφαρμογές όπως είναι η θέρμανση χώρων και νερού, το μαγείρεμα, και τα ιαματικά λουτρά. Ο πρώτος γεωθερμικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάστηκε το 1904 στο Larderello της Ιταλίας, είχε ονομαστική ισχύ 250 kW και χρησιμοποιούσε γεωθερμικό ατμό για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο δεύτερος γεωθερμικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάστηκε τη δεκαετία του '50 στο Wairakei της Νέας Ζηλανδίας, και ακολούθησαν τα Geysers της Καλιφόρνιας στη δεκαετία του '60. Σήμερα υπάρχει ένα δυναμικό 12.000 MW άμεσης χρήσης και πάνω από 8.000 MW ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμικές πηγές παγκοσμίως.

Για να γίνει αντιληπτή η συμμετοχή της γεωθερμικής ενέργειας, αναφέρεται ότι αυτό το δυναμικό αντιστοιχεί στο 0,4% περίπου του συνολικά εγκατεστημένου δυναμικού

παραγωγής παγκοσμίως. Οι κυριότεροι χρήστες της γεωθερμίας (άμεσα και έμμεσα) είναι οι ΗΠΑ, οι Φιλιππίνες, η Ιταλία, το Μεξικό, η Ισλανδία, η Ινδονησία, η Ιαπωνία και η Νέα Ζηλανδία. Στον πίνακα 3.11 εντοπίζεται η υφιστάμενη ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία κατά σειρά μεγέθους ανά χώρα. Η ισχύς των 8.246 MW ηλεκτρικής ενέργειας του 1999 ήταν κατά 40% μεγαλύτερη από την εγκατεστημένη ισχύ το 1990.

Πίνακας 3.11. Παγκοσμίως εγκατεστημένο γεωθερμικό δυναμικό (σε MW_e) ανά χώρα
Άλλες χώρες με παραγωγή μικρότερη από 20 MW είναι η Αργεντινή, η Αυστραλία, η

Χώρα	1990	1999
ΗΠΑ	2775	2850
Φιλιππίνες	891	1848
Ιταλία	545	769
Μεξικό	700	753
Ινδονησία	145	590
Ιαπωνία	215	530
Νέα Ζηλανδία	283	345
Ισλανδία	45	140
Κόστα Ρίκα	0	120
Ελ Σαλβαδόρ	95	105
Νικαράγουα	70	70
Κένυα	45	45
Κίνα	19	32
Γουατεμάλα	0	29
Τουρκία	20	20
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς	5867	8246

Πηγή: *International Geothermal Association (1998) - Ενημέρωση με στοιχεία δημοσιευμένα το 1999.*

Αιθιοπία, η Γαλλία (Γουαδελούπη), η Πορτογαλία (Αζόρες), η Ρωσία και η Ταϊλάνδη. Οι πρώτοι γεωθερμικοί σταθμοί χρηματοδοτήθηκαν και λειτουργήθηκαν κυρίως από εθνικές υπηρεσίες ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο, με εξαίρεση την Καλιφόρνια όπου η ανάπτυξη του πεδίου των Geysers υλοποιήθηκε από ιδιωτικές ηλεκτρικές εταιρείες. Με τη σημερινή διεθνή τάση για απελευθέρωση της ενεργειακής βιομηχανίας, ιδιώτες εγκαταστάτες έχουν αναμιχθεί αμεσότερα τόσο στην αξιολόγηση όσο και στην ανάπτυξη των πηγών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την Ινδονησία και τις Φιλιππίνες.

Η αγορά κυριαρχείται από τις μονάδες ακαριαίου ατμού, αλλά κατά τα τελευταία δέκα χρόνια έχουν εγκατασταθεί πολλές μικρότερης κλίμακας μονάδες δυαδικού κύκλου, αλλά και αρκετές συνδυασμένες μονάδες (ακαριαίας ατμοποίησης/δυαδικού κύκλου). Η πλειοψηφία

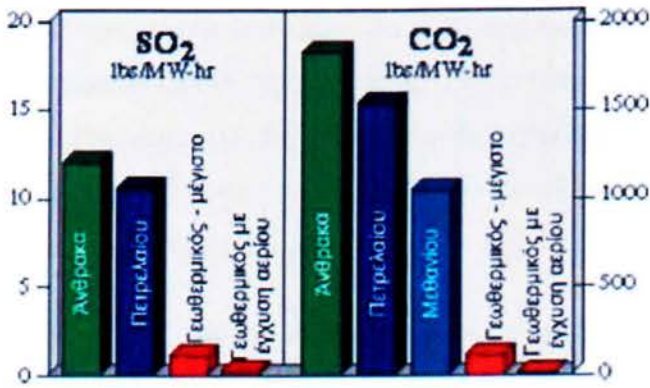
των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής διεθνώς αποτελούν μονάδες βάσης, δηλαδή λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα για 365 ημέρες το έτος. Θεωρώντας ένα συντελεστή φορτίου 80% και ένα μέσο κόστος του ατμού 5 cent ανά kWh, η γεωθερμική ισχύς κοστολογείται σε περίπου 3 δισεκατομμύρια US\$ ετησίως.

3.7.4.2. Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται εμπορικά σε μία κλίμακα εκατοντάδων MW για περισσότερο από τρεις δεκαετίες δεδομένου ότι διαθέτει διάφορα θετικά γνωρίσματα που την καθιστούν ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας και μερικές άλλες ΑΠΕ. Ειδικότερα:

- Αποτελεί έναν τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα από άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

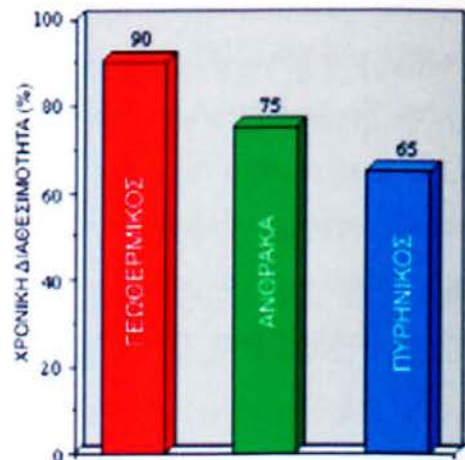
Επιπλέον, η νεώτερη γενιά των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπει μόνο 136 gr διοξειδίου του άνθρακα ανά kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο, έναντι των 453 gr/kWh CO₂ μιας μονάδας με καύσιμο φυσικό αέριο ή των 1042 gr/kWh CO₂ από ένα θερμικό σταθμό άνθρακα. Στο σχήμα 5.10 παρέχεται μια σύγκριση των εκπομπών SO₂ (κύριο αίτιο της όξινης βροχής) και CO₂ (ένα αέριο του θερμοκηπίου και της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής) μεταξύ εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο άνθρακα και πετρέλαιο, και γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με ή χωρίς έγχυση των αερίων αποβλήτων πίσω στο έδαφος.



Σχήμα 3.65. Συγκρίσεις εκπομπών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής διαφόρων καυσίμων

Αυτή τη στιγμή, οι ΑΠΕ με το μέγιστο δυναμικό και τις χαμηλότερες εκπομπές στην Ευρώπη, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, είναι η υδραυλική και η γεωθερμική ενέργεια. Σημειώνεται επίσης ότι οι συντελεστές δυναμικού των υδροηλεκτρικών και των γεωθερμικών σταθμών στην Ευρώπη είναι τη στιγμή αυτή πάνω από 70%, ενώ οι τυπικές τιμές για τα ηλιακά και τα αιολικά συστήματα είναι 20-35%. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να παράγεται η ονομαστική ενέργεια, εξαρτάται κυρίως από τη φύση της πηγής και κατά δεύτερο λόγο από τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

Η εμπειρία δείχνει ότι η διαθεσιμότητα των γεωθερμο-ηλεκτρικών μονάδων συχνά είναι άνω του 90%. Το ιστόγραμμα του σχήματος 3.66 παρουσιάζει μία σύγκριση των ποσοστών του χρόνου, κατά μέσο όρο, που οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής γεωθερμίας, άνθρακα και πυρηνικών είναι διαθέσιμες για να παράγουν ηλεκτρισμό (δηλ. το συντελεστή διαθεσιμότητας). Υπό αυτές τις περιστάσεις, ο συντελεστής της εγκατάστασης, που ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που η μονάδα πραγματικά παράγει ενέργεια, είναι σχεδόν ίσος με το συντελεστή διαθεσιμότητας.



Σχήμα 3.66. Συντελεστές διαθεσιμότητας τριών τύπων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Τόσο οι υψηλής όσο και οι χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικοί σταθμοί ισχύος μπορούν να κατασκευαστούν ως πολυσυναρτησιακές μονάδες. Αυτή η προσέγγιση μειώνει την δαπάνη αρχικού κεφαλαίου και κατανέμει την επένδυση, ενώ καθιστά εφικτή την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας της πηγής πριν αρχίσει η πλήρης λειτουργία και επιτρέπει την απολαβή εσόδων στην πρώτη δυνατή ευκαιρία, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την οικονομική απόδοση ολόκληρου του σχήματος και μειώνοντας την έκθεση σε γεωλογικούς κινδύνους ή ρίσκα εξόρυξης.

Τα κόστη, συνεπώς και η οικονομική βιωσιμότητα των έργων γεωθερμικής ενέργειας, εξαρτώνται αυστηρά από τις ειδικές συνθήκες της θέσης και τον τύπο της εφαρμογής. Σημειώνεται ότι, το κόστος παραγωγής του ηλεκτρισμού είναι πιο ευαίσθητο στο ειδικό κόστος διάνοιξης των φρεάτων και στην παραγωγικότητα κάθε φρέατος, που κυμαίνεται σημαντικά μεταξύ διαφορετικών χωρών. Η διακύμανση των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων που ενέχονται στην υλοποίηση των γεωθερμικών έργων (το ειδικό κόστος του πεδίου συν το κόστος εγκατάστασης) σημαίνει ότι κάθε ένα από αυτά έχει ένα μοναδικό κόστος παραγωγής και δεν είναι δυνατή μια ευρεία γενίκευση.

Η συνολική ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας καθορίζεται επίσης με τη σύγκριση της τόσο με τις συμβατικές όσο και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συνήθως το κόστος της ενέργειας στηρίζεται σε τυποποιημένες χρηματοοικονομικές αναλύσεις. Η χρηματοδότηση των γεωθερμικών έργων από τις υπηρεσίες διεθνούς χρηματοδότησης τελευταία βασίζεται στη διεξαγωγή μιας ανάλυσης ελαχίστου κόστους, ως μέρος της διαδικασίας τους για δανειοδότηση των ενεργειακών έργων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη το χαμηλότερο κόστος των συμβατικών καυσίμων, ειδικά του φυσικού αερίου, με αυστηρά οικονομικά κριτήρια καθιστά ανταγωνιστικές μόνο τις καλύτερες από τις γεωθερμικές πηγές. Εντούτοις, η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να γίνει πιο ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας εάν η σύγκριση δεν περιοριζόταν αυστηρά στα οικονομικά κριτήρια αλλά λαμβάνονταν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως τα σκιδώδη κόστη και οι οικονομικές συνέπειες τους (γνωστά ως "εξωτερικά κόστη").

Τα σχετικά εξωτερικά κόστη της συμβατικής παραγωγής γίνονται εξωτερικά οφέλη στην περίπτωση της γεωθερμίας (όπως και για τις άλλες ΑΠΕ), και αποτελούν μία παράμετρο που αλλάζει ουσιαστικά το επίπεδο ανταγωνιστικότητας προς όφελος της γεωθερμικής ενέργειας. Αυτά μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε χρηματικούς όρους και θα πρέπει να αποτελούν έναν αναγνωρισμένο παράγοντα για λόγους σύγκρισης. Εάν μεταξύ των παραμέτρων της επένδυσης περιληφθούν οι εξωτερικοί παράγοντες, τότε μπορούν να πραγματοποιηθούν τα πλήρη κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

Η απαλλαγή του επενδυτή από αυτή την "προστιθέμενη αξία" δεν πρέπει να ληφθεί ως επιδότηση αλλά ως αναδιάταξη των οικονομικών οφελών που απορρέουν από το έργο. Έχει υπολογιστεί ότι το εξωτερικό κόστος των συμβατικών καυσίμων είναι 10 φορές σχεδόν μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος των ανανεώσιμων και το 50% σχεδόν του συνολικού οικονομικού κόστους (έναντι 1% στην περίπτωση των ΑΠΕ). Η ποσοτικοποίηση των εξωτερικοτήτων αποτελεί κρίσιμη πτυχή για τη δίκαιη εκτίμηση της γεωθερμικής ενέργειας, με την οποία επίσης αποφεύγεται η επιβολή προστίμων σε έργα που αξιολογούνται καθαρά στη βάση μιας ανάλυσης ταμειακών ροών.

3.7.4.3. Το μέλλον της γεωθερμικής ενέργειας

Οι προβλέψεις σχετικά με την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας συνδέονται στενά με τις εξελίξεις στην τιμή του πετρελαίου. Παρότι έχει αποδειχθεί ότι ο τομέας μπορεί να επεκταθεί και σ' ένα πλαίσιο χαμηλών τιμών βαρελιού, η επίδραση του παράγοντα αυτού παραμένει καθοριστική. Η πρόβλεψη των διακυμάνσεων του πετρελαίου πάντως είναι αρκετά δύσκολη, γι' αυτό και έχουν αναπτυχθεί δύο διαφορετικά σενάρια για το μέλλον. Στο πρώτο θεωρείται μια σχετικά χαμηλή τιμή του πετρελαίου για τα έτη 2005 και 2010. Το δεύτερο σενάριο βασίζεται σε μια αύξηση της τιμής του βαρελιού που θα ευνοούσε την ανάπτυξη των ΑΠΕ, συνεπώς και των γεωθερμικών εγκαταστάσεων. Στην περίπτωση αυτή, το εγκατεστημένο δυναμικό θα μπορούσε να φθάσει τα 32.250 MWe για ηλεκτροπαραγωγή και τα 69.500 MWth για άμεση χρήση.

Με βάση τα τωρινά μεγέθη, η πρόβλεψη αυτή αντιστοιχεί σε τετραπλασιασμό των δύο τομέων. Πάντως, τα μεγέθη αυτά αποτελούν χονδρικές εκτιμήσεις και δεν πρέπει να ληφθούν

σε καμία περίπτωση ως ακριβή στοιχεία. Αυτό συμβαίνει επειδή, πέρα από την επίπτωση της τιμής των ορυκτών καυσίμων, ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι το επίπεδο των βεβαιωμένων γεωθερμικών αποθεμάτων. Η γνώση του πλανήτη Γη είναι ακόμα, κυριολεκτικά αλλά και μεταφορικά, "επιφανειακή". Θα μπορούσαν να εμφανιστούν νέα κοιτάσματα και νέες τεχνολογίες και να μεταβληθούν εντελώς οι τάσεις που θα έχουν παρατηρηθεί μέχρι τότε.

Οι μόνες εμπορικά βιώσιμες γεωθερμικές πηγές βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα φαίνεται ότι θα συνεχίσουν να είναι οι υδροθερμικές. Μόνες αυτές αντιπροσωπεύουν μια τεράστια πηγή ενέργειας, αφού υπολογίζεται ότι θα μπορούσαν να παραχθούν βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα από τις γνωστές υδροθερμικές πηγές 80 GW γεωθερμικής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Μακροπρόθεσμα, οι τεχνολογικές εξελίξεις θα διευκολύνουν την αξιοποίηση της ενέργειας στα θερμά ξηρά πετρώματα και τους γεωπεπλισμένους ταμειυτήρες, που αντιπροσωπεύουν μια πηγή ενέργειας ουσιαστικά απεριόριστη και αποτελούν το μέλλον της αειφόρου γεωθερμίας.

Σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρισμού, υπάρχει μια ομάδα χωρών που φαίνεται ότι μελλοντικά θα κυριαρχήσουν στον τομέα, μεταξύ των οποίων είναι οι Φιλιππίνες, η Ινδονησία και το Μεξικό. Από την άλλη, οι ΗΠΑ μάλλον δεν θα επαναλάβουν τους ρυθμούς ανάπτυξης της δεκαετίας του '80 και θα χάσουν την ηγετική τους θέση από τις Φιλιππίνες. Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, οι ενεργές χώρες στο πεδίο της ηλεκτροπαραγωγής παραμένουν η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Γαλλία, που όμως φιλοδοξούν να αυξήσουν την εγκατεστημένη ανέλθει σε 1.011 MW_e το 2005 και σε 1.200 MW_e μέχρι το 2010. Τα μεγέθη αυτά υπερβαίνουν τους στόχους της Λευκής Βίβλου, που είναι τα 1.000 MW_e έως το 2010.

3.8. Ηλεκτροπαραγωγή από τη βιομάζα

3.8.1. Η βιομάζα ως ενεργειακός πόρος

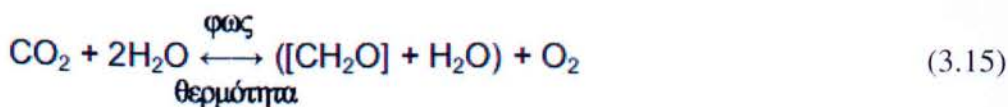
3.8.1.1. Ορολογία

"Βιομάζα" είναι ένας επιστημονικός όρος για τη ζώσα ύλη, ειδικότερα κάθε οργανική ύλη που προέρχεται από τα φυτά ως αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής διεργασίας. Ο όρος βιομάζα επίσης χρησιμοποιείται για να δηλώσει τα προϊόντα που προέρχονται από ζώντες οργανισμούς - ξύλο από τα δένδρα, φυτά συγκομιδής, μέρη φυτών και γεωργικά

υπολείμματα, π.χ. κλαδιά, μίσχοι και φύλλα, καθώς και τα υδρόβια φυτά και τα ζωικά απόβλητα. Από την άποψη αυτή, τα ορυκτά καύσιμα, π.χ. ο άνθρακας και το πετρέλαιο, είναι στην πραγματικότητα απολιθωμένη βιομάζα.

Αν και η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως ως τροφή, χαρτί, ξυλεία και χημικά, τόσο αυτή όσο και τα υποπροϊόντα της μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως πηγές για την κάλυψη πολλών ενεργειακών αναγκών. Η "βιοενέργεια", δηλ. η ενέργεια από βιομάζα, είναι αποθηκευμένη χημική ενέργεια και περιλαμβάνει κάθε στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο, οιαδήποτε ποσότητα ηλεκτρισμού ή ωφέλιμοχημικό παράγωγο που προέρχονται από οργανική ουσία, είτε άμεσα από τα φυτά είτε έμμεσα από φυτικής προέλευσης βιομηχανικά, εμπορικά ή αστικά απόβλητα, ή από γεωργικά και δασικά υπολείμματα. Έτσι, η βιοενέργεια μπορεί να προέρχεται από ένα μεγάλο εύρος πρώτων υλών και να παράγεται με ποικίλους τρόπους.

Το ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας φυτικής προέλευσης αρχικά προκύπτει από την ηλιακή ενέργεια μέσω μιας διεργασίας γνωστής ως φωτοσύνθεση [σχέση (3.15)]. Στη φύση, όλη η βιομάζα αποσυντίθεται στα στοιχειώδη μόρια της με απελευθέρωση θερμότητας. Κατά τις διεργασίες μετατροπής (π.χ. καύση), η βιομάζα απελευθερώνει την ενέργεια της, συχνά υπό μορφή θερμότητας, και ο άνθρακας επανοξειδώνεται σε CO₂ ώστε να αντικατασταθεί αυτό που απορροφήθηκε όσο αναπτυσσόταν το φυτό. Συνεπώς, η ενεργειακή χρήση της βιομάζας είναι το αντίστροφο της φωτοσύνθεσης.



Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματα της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Σημειώνεται ότι, σε ορισμένες χώρες (κυρίως στις ΗΠΑ), τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) δεν θεωρούνται ως βιομάζα, παρότι είθισται να καίγονται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, αν και το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των ΑΣΑ προέρχεται από φυτικές ουσίες και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία ενεργειακών συστημάτων ειδικής κατασκευής, τα ΑΣΑ περιέχουν επίσης έναν αριθμό πιθανά τοξικών υλικών, όπως κατεργασμένα με κρεόζωτο ξύλα, μπαταρίες που περιέχουν υδράργυρο, και άλλα βλαβερά προϊόντα.

Συνεπώς, στα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής ΑΣΑ πρέπει να αφαιρούνται τα υλικά αυτά από τις πρώτες ύλες πριν την καύση τους, ή να φιλτράρονται πολύ προσεκτικά τα καυσαέρια για την αποφυγή τοξικών εκπομπών. Η συνήθης βιομάζα δεν περιέχει τοξικά χημικά και, όταν χρησιμοποιείται σε σύγχρονα συστήματα ισχύος, παράγει λιγότερες εκπομπές από τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στα επόμενα χρησιμοποιείται ο όρος «απόβλητα» σε αντίθεση με την «αγνή» βιομάζα.

3.8.1.2. Ενεργειακός κύκλος της βιομάζας

3.8.1.3. Βιο-ισχύς

Από πολλές απόψεις ο ηλεκτρισμός από βιομάζα είναι διαφορετικός από τις άλλες ΑΠΕ στο ότι η αρχική ενεργειακή πηγή περιλαμβάνει ένα πλήθος πρώτων υλών με ποικίλες ιδιότητες. Για την παραγωγή ισχύος από βιομάζα πρέπει να συνεργάζονται δύο εντελώς διαφορετικού χαρακτήρα συστήματα, δηλαδή ένα σύστημα τροφοδοσίας που παράγει, συλλέγει και παραδίδει το καύσιμο, και ένας σταθμός που παράγει (και διαθέτει) τον ηλεκτρισμό. Στα επόμενα περιγράφονται οι υφιστάμενες και μελλοντικές τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σ' αυτά τα συστήματα και ο τρόπος με τον οποίο το ένα επιδρά στο άλλο.

Η χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία. Στις ΗΠΑ, η παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα αυξανόταν κατά 7% κάθε χρόνο μεταξύ του 1990 και 1994, φθάνοντας τις 59.000 GWh το 1994. Μια τέτοια εξέλιξη θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια βιομηχανία δυναμικότητας περίπου 30 GW, που θα παράγει 150.000 έως 200.000 GWh ηλεκτρισμού το 2020. Η ενέργεια από βιομάζα στην Ευρώπη σήμερα αντιστοιχεί στο 2% περίπου της συνολικής κατανάλωσης, και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προβλέπει ότι αυτή η τιμή θα φθάσει το 15% μέχρι το 2010.

Αντίθετα με τα άλλα συστήματα ΑΠΕ που απαιτούν ακριβές εξελιγμένες τεχνολογίες (όπως είναι τα φωτοβολταϊκά ηλιακά), η βιομάζα μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό με εξοπλισμό και σταθμούς ίδιου τύπου με αυτούς που τώρα λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα. Πολλές καινοτομίες στην ηλεκτροπαραγωγή με ορυκτά καύσιμα μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στη χρήση των καυσίμων από βιομάζα. Πάντως, εξαιτίας διάφορων παραγόντων που αναλύονται στη συνέχεια, η ανάπτυξη αυτής της ΑΠΕ δεν είναι η επιθυμητή.

Οι περισσότεροι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα που λειτουργούν σήμερα χαρακτηρίζονται από χαμηλές αποδοτικότητες του λέβητα και του θερμικού σταθμού, λόγω των ιδιοτήτων των καυσίμων αλλά και του μικρού μεγέθους των περισσότερων εγκαταστάσεων, ενώ είναι δαπανηρή και η κατασκευή τους. Για την κατασκευή των καλύτερων από τις μονάδες αυτές σήμερα απαιτούνται περίπου \$2.000 ανά εγκατεστημένο kW, μεθερμική αποδοτικότητα περίπου 40%, ενώ οι μεγάλοι σταθμοί άνθρακα κοστίζουν περίπου \$1.500 ανά kW, μεθερμική αποδοτικότητα 45%. Έτσι, η κύρια πρόκληση στη χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή είναι η ανάπτυξη πιο αποδοτικών και φθηνότερων συστημάτων.

Τα εξελιγμένα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα απαιτούν αναβάθμιση καυσίμου, βελτίωση της καύσης και του κύκλου, και καλύτερη επεξεργασία των καυσαερίων. Οι μελλοντικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής με βάση τη βιομάζα πρέπει να παρέχουν ανώτερη περιβαλλοντική προστασία με χαμηλότερο κόστος, συνδυάζοντας τις εξελιγμένες διαδικασίες προετοιμασίας, μετατροπής και καύσης της βιομάζας με τον καθαρισμό των καυσαερίων. Στα συστήματα αυτού του είδους περιλαμβάνονται η καύση ρευστοποιημένης κλίνης, η ενσωματωμένη αεριοποίηση της βιομάζας και οι αεριοστροβίλοι με εξωτερική καύση βιομάζας.

3.8.2. Πρώτες ύλες βιομάζας

Οι πρώτες ύλες βιομάζας που χρησιμοποιούνται, ή αξιολογείται η χρήση τους, για την τροφοδοσία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής συνήθως εμπίπτουν σε μία από τις ακόλουθες γενικές κατηγορίες:

- ξύλο (δασικό ξύλο, υπολείμματα ξύλου, και λόχμες σύντομου κύκλου),

- γεωργικά υπολείμματα, που περιλαμβάνουν τη βαγάσση (ζαχαροκαλαμόσκονη), τα υπολείμματα ελιάς, κελύφη ρυζιού και άχυρα,
- ενεργειακές καλλιέργειες (όπως είναι ο μίσκανθος, η φάλαρις και το αρούντο),
- απόβλητα, τα οποία περιλαμβάνουν τα αστικά στερεά απόβλητα, καύσιμοαπό σκουπίδια, λύματα και κοπριά.

Εκτός των αποβλήτων, το παγκόσμιο δυναμικό των πρώτων υλών «αγνής» βιομάζας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.68 παρακάτω (σύμφωνα με το Υπ. Ενέργειας των ΗΠΑ).

Παγκόσμιοι Πόροι Βιοσχύος:

Ενεργειακό Δυναμικό άνω των 5 GW



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ



ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΥΠΟΛΛΕΙΜΜΑΤΑ

Σχήμα 3.68. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής των πρώτων υλών βιομάζας

Σήμερα, οι πιο συμφέρουσες οικονομικά μορφές της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι τα υπολείμματα, δηλαδή τα οργανικά υποπροϊόντα τροφών, ινών, και δασικής παραγωγής. Συνήθως χρησιμοποιούνται το πριονίδι, τα κελύφη ρυζιού και η βαγάσση. Κοντά σε αστικά και βιομηχανικά κέντρα είναι επίσης συνήθη υλικά χαμηλού κόστους από υπολείμματα καθαρού ξύλου (άχρηστες παλέτες και κασόνια, υπολείμματα ξυλουργείων, κλπ.). Η χρήση των υπολειμμάτων βιομάζας ως καύσιμο μπορεί να αποτρέψει

τις αγορές συμβατικών καυσίμων, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της απόρριψής τους.

Στο μέλλον μπορεί να απαιτηθούν μεγαλύτερες ποσότητες καυσίμων βιομάζας για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια. Διάφοροι οργανισμοί παγκοσμίως μελετούν και αναπτύσσουν δένδρα και πόες ταχείας ανάπτυξης που θα μπορούσαν να καλλιεργούνται, κυρίως σε ακαλλιέργητες γεωργικές εκτάσεις, ειδικά για χρήση τους ως καύσιμα. Με την ανάπτυξη οικονομικά συμφερόντων ενεργειακών καλλιεργειών μπορούν να αυξηθούν κατά πολύ οι διαθέσιμες για ηλεκτροπαραγωγή ποσότητες βιομάζας. Έτσι, εάν φυτεύονταν ενεργειακές καλλιέργειες στο 4% περίπου των γαιών εντός μίας ακτίνας 80 km, θα μπορούσαν να καλύψουν πλήρως τις ανάγκες σε καύσιμα μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα των 100 MW.

3.8.2.1. Υπολείμματα ξύλου

Το ξύλο είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο καύσιμο βιομάζας για παραγωγή θερμότητας και ισχύος. Οι πιο οικονομικές πηγές ξυλοκαυσίμων είναι συνήθως τα υπολείμματα ξύλου από τις βιομηχανίες (πριονίδια), τα άχρηστα ξύλινα προϊόντα ή τα υπολείμματα ξυλαποθηκών που προέρχονται από χωματερές, καθώς και τα αβλαβή θρύμματα ξύλου από οικοδομές και κατεδαφίσεις. Πρόσφατες μελέτες στις ΗΠΑ δείχνουν ότι οι ποσότητες των διαθέσιμων βιομηχανικών και αστικών υπολειμμάτων ξύλου υπερβαίνουν τα 39 εκατομμύρια τόνους ξηράς ουσίας ετησίως - αρκετές για να παράσχουν πάνω από 7.500 MW νέας βιο-ισχύος, ή για το διπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύος στις ΗΠΑ.

Πριονίδια

Τα υπολείμματα ξύλου από τη βιομηχανία χάρτου και πολτού, τα ξυλουργεία και άλλους βιομηχανικούς χρήστες ξύλου χρησιμοποιούνται συχνά για την παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα. Αυτά τα υπολείμματα είναι συνήθως πολύ καθαρά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμοσεένα μεγάλο εύρος συστημάτων ισχύος βιομάζας. Σε πολλές

περιπτώσεις, τα πριονίδια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού εντός της εγκατάστασης όπου παράγονται.

Αστικά υπολείμματα ξύλου

Μεγάλες ποσότητες αστικών υπολειμμάτων ξύλου απορρίπτονται στις χωματερές, για παράδειγμα τα απαρχαιωμένα ξύλινα προϊόντα, οι σπασμένες ξύλινες παλέτες και κάσες, και τα ακατέργαστα καθαρά υλικά οικοδομών και κατεδαφίσεων. Τα υλικά αυτά μπορούν να εκτραπούν σε μονάδες ανάκτησης που διαχωρίζουν το καθαρό ξύλο από τα άλλα υλικά (π.χ. βαριά μέταλλα, συνήθως λόγω του χρώματος που μένει στο ξύλο). Το καθαρό ξύλο, με χαμηλή υγρασία μέχρι 5%, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραγωγικά ως καύσιμο βιομάζας και υλικά διαμόρφωσης ανοικτών χώρων.

Υπολείμματα δένδρων

Τα ξυλώδη υπολείμματα των κήπων αποτελούν μια άλλη μεγάλη πηγή ξύλου που προς το παρόν καταλήγουν στις χωματερές. Παρόμοια υλικά επίσης παράγονται από το κλάδεμα των δένδρων που βρίσκονται κοντά σε οδούς, σιδηροδρομικές γραμμές και ηλεκτρικά συστήματα (π.χ. γραμμές μεταφοράς του ρεύματος). Μερικές φορές, τα κλαδιά των δένδρων εισαγόμενα στο λίπασμα μετατρέπονται σε εδαφικό κάλυμμα, ή αλέθονται και χρησιμοποιούνται για επικάλυψη των χωματερών. Πάντως, σταθερό καταναλωτή αυτών των υλικών μπορούν να αποτελέσουν κάποια ενεργειακά έργα.

Δασικά υπολείμματα

Τα δασικά απόβλητα περιλαμβάνουν μη χρησιμοποιούμενα υπολείμματα υλοτομίας, μηεμπορεύσιμα δέντρα, νεκρά ξύλα, και άλλα μηεμπορικά δέντρα που πρέπει να κοπούν από πυκνά, ασθενή ή ευπρόβλητα δάση. Η απογύλιωση των δασών, που είναι απαραίτητη για να βοηθηθούν μερικά δάση να επανακτήσουν τη φυσική τους υγεία, επίσης παρέχει μια μεγάλη ποσότητα υπολειμμάτων ξύλου που μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρισμό ή βιοκαύσιμα. Εξαιτίας της διασποράς και της μακρινής τους θέσης, η ανάκτηση των υπολειμμάτων αυτών είναι αρκετά πιο δύσκολη και δαπανηρή από αυτή των αστικών υπολειμμάτων ξύλου.

3.8.2.2. Γεωργικά υπολείμματα

Μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων συγκομιδής παράγονται κάθε χρόνο παγκοσμίως και μένουν αχρησιμοποίητες. Αυτά περιλαμβάνουν γεωργικά κατάλοιπα όπως άχυρα σιτηρών, στελέχη καλαμποκιού (φύλλα, μίσχοι και κότσαλα), κλαδέματα οπωρώνων, φλοιοί ρυζιού και βαγάση. Τα υπολείμματα του καλαμποκιού μόνο μπορούν να παράγουν πάνω από την τριπλάσια ποσότητα υπολειμμάτων που διατίθεται σήμερα από όλες τις μορφές των υπολειμμάτων ξύλου (εκτός των δασικών). Η γεωργική πρακτική συνήθως είναι τα υπολείμματα αυτά να επιστρέφονται στο χώμα, να καίγονται, να αφήνονται να αποσυντίθενται, ή να αποτελούν απόθεμα βοσκής.

Τα περισσότερα γεωργικά υπολείμματα δεν έχουν ακόμα χρησιμοποιηθεί ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή. Ωστόσο, μπορούν να παράσχουν μια αξιόλογη πηγή βιομάζας εάν αναπτυχθούν υποδομές τροφοδοσίας που να τα αποδίδουν οικονομικά σε μονάδες ισχύος που μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν ως καύσιμα. Πράγματι, ένας αριθμός μελετών για τη γεωργία και τη βιομάζα έχουν καταλήξει στο ότι είναι δυνατό να αφαιρείται και να αξιοποιείται ένα μέρος των υπολειμμάτων των καλλιεργειών για παραγωγή ενέργειας, παρέχοντας μεγάλους όγκους υλικού χαμηλού κόστους. Αυτά τα υπολείμματα θα μπορούσαν να υποστούν επεξεργασία μετατροπής τους σε υγρά καύσιμα ή να καούν/αεριοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Βαγάση

Ο πολτός που απομένει μετά το θρυμματισμό του ζαχαροκάλαμου για την εκχύμωση του ονομάζεται βαγάση. Αυτή συνηθίζεται να χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ζάχαρης ως καύσιμο για τη συμπαραγωγή ατμού (για την παραγωγή της ζάχαρης) και ηλεκτρισμού, για επιτόπια χρήση και πώληση στις εταιρείες ηλεκτρισμού. Το περιεχόμενο σε τέφρα συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4-11% (του ξηρού βάρους), αλλά η θερμοκρασία τήξης της τέφρας είναι υψηλή. Ο κύριος παραγωγός ηλεκτρισμού από βαγάση είναι οι ΗΠΑ, όπου τέτοιες εγκαταστάσεις συμπαραγωγής λειτουργούν στη Φλόριντα, τη Χαβάη, και τη Λουϊζιάνα. Η βαγάση αποτελεί επίσης σημαντική ενεργειακή πηγή για μερικά κράτη όπως η Αυστραλία, το Πακιστάν, η Ινδία, η νήσος Reunion, η Ταϊλάνδη, και άλλα στην Αφρική, τη Νότια Ασία και τη Νότια Αμερική.

Φλοιοί ρυζιού

Το ρύζι είναι μετά το σιτάρι η δεύτερη πιο διαδεδομένη καλλιέργεια στον κόσμο προς την παραγόμενη ποσότητα και την καλλιεργούμενη έκταση, αποτελεί δε την κύρια τροφή για περισσότερο από το μισό του πληθυσμού της Γης. Οι φλοιοί είναι ένα κατάλοιπο της επεξεργασίας του ρυζιού (περίπου το 20% του ακατέργαστου ρυζιού είναι φλοιός). Αντί να πετιούνται οι φλοιοί μπορούν να χρησιμοποιούνται από τα εργοστάσια του ρυζιού για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού. Αυτό γίνεται ήδη σε αρκετές μονάδες στο Αρκάνσας, τη Λουϊζιάνα και την Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Σε χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, το Πακιστάν, η Ταϊλάνδη και το Βιετνάμ, όπου παράγεται ρύζι σε μεγάλες ποσότητες, οι φλοιοί του ρυζιού θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντική πηγή καυσίμου για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης σε ηλεκτρισμό και να υποκαταστήσουν τη χρήση και τις εισαγωγές των ορυκτών καυσίμων.

Άχυρο

Το άχυρο έχει χαμηλές θερμοκρασίες τήξης της τέφρας και μπορεί να γίνει κολλώδες σε θερμοκρασίες μέχρι 550-600°C. Η ενίοτε υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο, ειδικά στις παραθαλάσσιες περιοχές, μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στους εναλλάκτες θερμότητας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όπου σχετικά παραδείγματα έχουν εντοπιστεί σε μερικές μονάδες καύσης άχυρου στη Δανία. Η περιεκτικότητα σε χλώριο μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ των παραθαλάσσιων περιοχών και αυτών της ενδοχώρας κατά ένα συντελεστή της τάξης του πέντε.

3.8.2.3. *Ενεργειακές καλλιέργειες*

Διάφοροι οργανισμοί διεθνώς, όπως εθνικά εργαστήρια, γεωργικοί και δασικοί όμιλοι, εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής και άλλες κυβερνητικές υπηρεσίες, εργάζονται ώστε να καταστήσουν τις ενεργειακές καλλιέργειες βιώσιμη πηγή καυσίμου στο εγγύς μέλλον. Οι καλλιέργειες αυτές είναι φυτείες που αναπτύσσονται και καλλιεργούνται ειδικά για χρήση

τους ως καύσιμα, και επιλέγονται προσεκτικά ώστε να αναπτύσσονται ταχέως, να είναι ανθεκτικές στην ξηρασία και τα παράσιτα, και να έχουν εύκολη συγκομιδή ώστε να επιτρέπουν ανταγωνιστικές τιμές όταν χρησιμοποιούνται ως καύσιμα.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες περιλαμβάνουν ταχείας αναπτύξεως δέντρα, θάμνους και πόες. Ως παραδείγματα ειδών υπό εξέταση αναφέρονται τα υβρίδια λεύκας, η ιτιά, το αρούντο και ο ευκάλυπτος. Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν σε αγροτικές εκτάσεις που δεν χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια τροφών, ζωοτροφών ή ινών. Αυτές περιλαμβάνουν γαίες που αποσύρονται από χρήση για λόγους ελέγχου των τιμών, και άλλες γεωργικές εκτάσεις που θεωρούνται ασύμφωρες για παραγωγή τροφίμων. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές γεωργικές καλλιέργειες, οι ενεργειακές απαιτούν λιγότερη συντήρηση και αγωγή με λιπάσματα και παρασιτοκτόνα.

Η περίοδος μεταξύ των συγκομιδών για τις ξυλώδεις ενεργειακές καλλιέργειες κυμαίνεται από 3 έως 10 έτη, ανάλογα με το είδος του δέντρου, και η περίοδος μεταξύ των φυτεύσεων μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 20 χρόνια. Πέρα από την αξία τους ως καύσιμα, οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για το έλεγχο της διάβρωσης, την αναβάθμιση του εδάφους, και ως φυσικά φίλτρα για την παρεμπόδιση της διαφυγής των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος προς τους υδροφόρους ορίζοντες.

Εκτός των άλλων, οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να επιφέρουν οικονομικά οφέλη στους γεωργούς. Ένα τυπικό σύγχρονο αγρόκτημα παράγει συνήθως μόνο ένα ή δύο κύρια εμπορεύσιμα προϊόντα, π.χ. καλαμπόκι, σόγια, γάλα ή κρέας. Το καθαρό εισόδημα της όλης επιχείρησης είναι συχνά ευάλωτο, μεταξύ των άλλων, στις διακυμάνσεις της ζήτησης της αγοράς, τα απρόσμενα έξοδα παραγωγής και τον καιρό. Καθώς οι τροφοδοτούμενες με βιομάζα μονάδες ηλεκτροπαραγωγής απαιτούν αρκετά σταθερή τροφοδοσία σε καύσιμο καθ' όλο το έτος, η ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί να επιφέρει τη σταθεροποίηση του εισοδήματος των γεωργών που θα επιλέξουν να διευρύνουν το φάσμα της παραγωγής τους.

3.8.2.4. Απόβλητα

Βιομηχανικά απόβλητα

Μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων και υποπροϊόντων παράγονται από τη βιομηχανία τροφίμων, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν ως ενεργειακές πηγές. Τα απόβλητα αυτά υλικά προέρχονται από όλους τους τομείς της βιομηχανίας αυτής, από την παραγωγή κρέατος μέχρι τη ζαχαροπλαστική. Τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν φλοιούς και υπολείμματα φρούτων και λαχανικών, τρόφιμα που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας, πολτό και ίνες από την εξαγωγή ζάχαρης και αμύλου, κατακάθια φίλτρων και καφέ. Αυτά συνήθως αποβάλλονται σε χώρους ταφής και η εταιρεία τροφίμων πληρώνει για την απόρριψη τους.

Ρεύματα υγρών αποβλήτων παράγονται από το πλύσιμο του κρέατος, των φρούτων και των λαχανικών, τη λεύκανση των φρούτων και των λαχανικών, το προ-μαγείρεμα των κρεάτων, πουλερικών και ψαριών, από εργασίες καθαρισμού και επεξεργασίας, καθώς και από την οينوποιεία. Αυτά τα ρευστά απόβλητα περιέχουν ζάχαρα, άμυλα, και άλλες διαλυμένες και στερεές οργανικές ύλες, αλλά σε αραιή μορφή. Το δυναμικό να υποστούν τα βιομηχανικά αυτά απόβλητα αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαέριου ή ζύμωση για την παραγωγή αιθανόλης υπάρχει, και ήδη υφίστανται αρκετά εμπορικά παραδείγματα μετατροπής των αποβλήτων σε ενέργεια.

Αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ)

Κάθε χρόνο συλλέγονται εκατομμύρια τόνοι οικιακών αποβλήτων και το μεγαλύτερο μέρος τους απορρίπτεται σε χώρους ταφής. Η σύσταση των ΑΣΑ κυμαίνεται ανάλογα με τη θέση και τον τύπο της υπηρεσίας συλλογής. Έχει βρεθεί ότι η μέση σύσταση των ΑΣΑ στην Αυστραλία είναι 46% σηπτικά υλικά (σηπόμενη οργανική ουσία), 24% χαρτί, 26% πλαστικό, γυαλί και μέταλλο, και 4% άλλα. Η πηγή βιομάζας σε αυτά τα ΑΣΑ αποτελείται από τα σηπτικά, το χαρτί και το πλαστικό, και κατά μέσο όρο είναι το 80% των συνολικά συλλεγόμενων ΑΣΑ. Η χαμηλότερη θερμογόνος δύναμη τους είναι εν γένει γύρω στα 8-12 GJ/τόνο.

Τα ΑΣΑ μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια με άμεση καύση ή μέσω φυσικής αναερόβιας χώνευσης στο χώρο ταφής τους. Στους χώρους ταφής, το αέριο που παράγεται από την φυσική αποσύνθεση των ΑΣΑ (περίπου 50% μεθάνιο και 50% διοξείδιο του άνθρακα)

συλλέγεται από τα συσσωρευμένα υλικά και καθαρίζεται πριν να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Ζωικά απόβλητα

Υπάρχει μια ποικιλία ζωικών αποβλήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές ενέργειας από βιομάζα. Οι πιο συνήθεις πηγές είναι οι κοπριές από τα χοιρινά, τα κοτόπουλα και τα βοοειδή (σε εκτροφεία), καθώς τα ζώα αυτά εκτρέφονται σε περιορισμένο χώρο παράγοντας μεγάλη ποσότητα αποβλήτων σε μικρή έκταση. Στο παρελθόν αυτά τα απόβλητα περισυλλέγονταν και πωλούνταν για λίπασμα ή απλά σκορπίζονταν στους αγρούς, αλλά η εισαγωγή αυστηρότερων ελέγχων για τις οσμές και τη μόλυνση του νερού επιβάλλει πλέον κάποια μορφή διαχείρισης τους. Αυτό παρέχει επιπλέον κίνητρα για τη μετατροπή των αποβλήτων σε ενέργεια.

Μια συνήθης μέθοδος μετατροπής αυτών των αποβλήτων υλικών είναι μέσω της αναερόβιας χώνευσης, η οποία περιγράφεται παρακάτω. Το προϊόν της αναερόβιας χώνευσης είναι ένα βιοαέριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμισε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ή να καειάμεσα για μαγειρική ή θέρμανση χώρων και νερού.

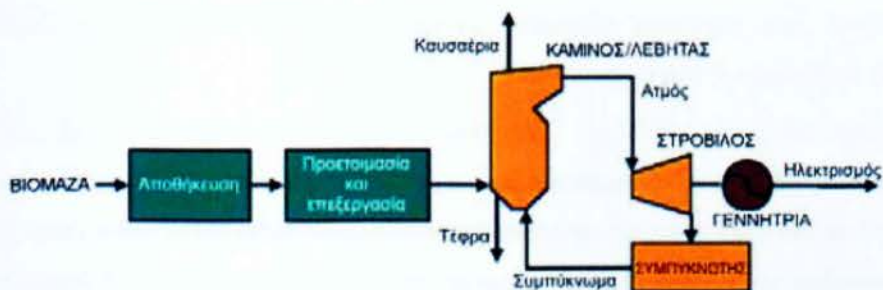
Αστικά λύματα

Τα αστικά λύματα αποτελούν μια πηγή ενέργειας βιομάζας που είναι αρκετά όμοια με τα άλλα ζωικά απόβλητα που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη μόνη διαφορά ότι αυτά υφίστανται επεξεργασία εδώ και πολλά χρόνια στις αναπτυγμένες χώρες. Ενέργεια μπορεί να εξαχθεί από τα αστικά λύματα μέσω της αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοαερίου. Η παραμένουσα λάσπη μπορεί στη συνέχεια να αποτεφρωθεί ή να υποστεί πυρόλυση, ώστε να παραχθεί περισσότερο βιοαέριο και βιοέλαιο.

3.8.3. Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής

3.8.3.1. Τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας

Οι τεχνολογίες κύριας μετατροπής της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι η άμεση καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση. Η άμεση καύση αντιστοιχεί στην οξείδωση της βιομάζας με περίσσεια αέρα, η οποία παρέχει θερμά καυσαέρια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού στους τομείς εναλλαγής θερμότητας των λεβήτων. Κατόπιν, ο ατμός χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή, εκτονούμενος μέσω ατμοστροβίλου σ' έναν κύκλο Rankine (σχήμα 3.69). Συνήθως, σ' έναν κύκλο ατμού συμπύκνωσης παράγεται μόνο ηλεκτρισμός, ενώ σ' έναν κύκλο ατμού με απομάστευση συμπαραγονται ηλεκτρισμός και ατμός.



Σχήμα 3.69. Σύστημα ατμοστροβίλου άμεσης καύσης

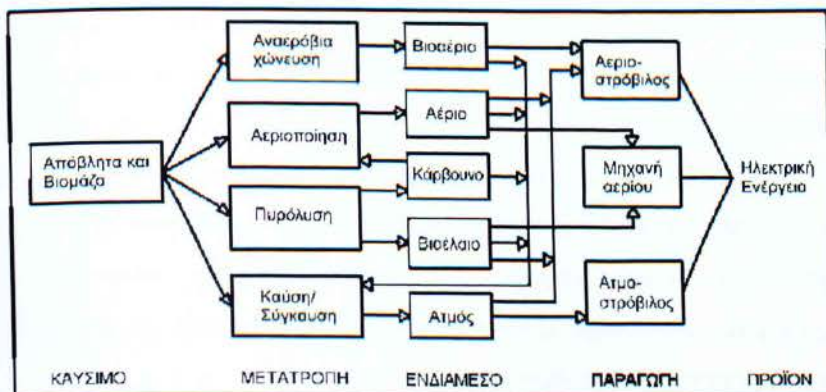
Στους κύκλους αεριοποίησης με βάση τον αέρα, η βιομάζα οξειδώνεται μερικώς με υποστοιχειομετρικές ποσότητες οξυγόνου, παρουσία ατμού, παρέχοντας ενέργεια για τη θερμική μετατροπή της υπόλοιπης βιομάζας σε αέρια και οργανικούς ατμούς. Για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα καθαρισμένα αέρια της αεριοποίησης (αεριογόνο) τροφοδοτούνται απευθείας σ' ένα λέβητα ή στο θάλαμο καύσης ενός βιομηχανικού ή τροποποιημένου αεροπορικού στροβίλου. Στους κύκλους έμμεσης αεριοποίησης χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή θερμότητας, αντί για οξυγόνο, για να προσδώσει την ενέργεια για την αεριοποίηση με ατμό υψηλής θερμοκρασίας του οργανικού μέρους της βιομάζας σε ατμούς και αέρια.

Έμμεση θέρμανση εφαρμόζεται επίσης στις διεργασίες πυρόλυσης για τη μετατροπή της βιομάζας σ' ένα μίγμα αερίων και οργανικών ατμών. Ως πυρόλυση ορίζεται η θερμική καταστροφή των οργανικών υλικών εν απουσία οξυγόνου. Συνεπώς, τεχνικά, ηέμμεση αεριοποίηση είναι μια διεργασία πυρόλυσης. Εν προκειμένω, εάν το κύριο προϊόν της πυρόλυσης είναι αέριο η διαδικασία θεωρείται αεριοποίηση, ενώ εάν είναι συμπυκνώσιμοι ατμοί η διαδικασία θεωρείται πυρόλυση. Συνήθως στις διεργασίες της πυρόλυσης δεν προστίθεται ατμός.

Όλες αυτές είναι τεχνολογίες θερμικής μετατροπής. Εξ άλλου, η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διεργασία με την οποία τα οργανικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο, ένα μίγμα μεθανίου (40-75% κατ' όγκο) και διοξειδίου του άνθρακα. Η διεργασία βασίζεται στην αποδόμηση των οργανικών μακρο-μορίων της βιομάζας από φυσικά υφιστάμενους πληθυσμούς βακτηρίων. Η βιομετατροπή λαμβάνει χώρα απουσία αέρα σε χωνευτήρες, δηλ. στεγανά δοχεία που παρέχουν ιδανικές συνθήκες ώστε τα βακτήρια να ζυμώσουν (χωνεύσουν) την οργανική ύλη σε βιοαέριο.

Κατά την αναερόβια χώνευση, μετατρέπονται σε βιοαέριο συνήθως το 30-60% των εισαγόμενων στερεών. Τα συμπαραγόμενα είναι ένα αχώνευτο υπόλειμμα (λάσπη) και διάφορες υδατοδιαλυτές ουσίες. Η αναερόβια χώνευση της εξαιρετικά υγρής βιομάζας και των αποβλήτων είναι μια καθιερωμένη και εμπορικά δοκιμασμένη τεχνολογία. Το βιοαέριο, είτε αυτούσιο είτε μετά από εμπλουτισμό με CH_4 , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και/ή ηλεκτρισμού μέσω μηχανών αερίου, ντίζελ ή διπλού καυσίμου, σε ισχείς μέχρι 10 MWe. Η μέση παραγωγικότητα είναι 0,2-0,3 m^3 βιοαερίου ανά kg ξηρών στερεών.

Σήμερα, το 80% της παραγωγής βιοαερίου στις βιομηχανικές χώρες προέρχεται από εμπορικά εκμεταλλεύσιμους χώρους ταφής απορριμμάτων. Η παραγωγή και χρήση του αερίου καυσίμου που προκύπτει από τα ΑΣΑ μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση για ηλεκτροπαραγωγή. Πάντως, στις περισσότερες περιπτώσεις, η ενέργεια που παράγεται στη διεργασία της χώνευσης αποτελεί υποπροϊόν της αφού, όπως και με την αποτέφρωση, κύριος στόχος είναι η επεξεργασία των αποβλήτων και όχι η παραγωγή ενέργειας. Στο σχήμα 3.70 παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι παραπάνω τεχνολογίες κύριας μετατροπής της βιομάζας.



Σχήμα 3.70. Σύνοψη των οδών μετατροπής της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή

3.8.3.2. Απευθείας καύση

Από τις διάφορες τεχνολογίες κύριας μετατροπής της βιομάζας ή των αποβλήτων, τα συστήματα καύσης είναι καθιερωμένα και αποτελούν ώριμη τεχνολογία, ειδικότερα η καύση του ξύλου, ενίοτε σε συνδυασμό με άλλους τύπους βιομάζας ή αποβλήτων. Οι σύγχρονοι σταθμοί μεγάλης κλίμακας συνδυάζουν την αποτέφρωση των ΑΣΑ με μια αυξανόμενη καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, για παραγωγή έως και 45 MWe. Υπάρχουν πολλά σχετικά παραδείγματα, ειδικότερα στις Σκανδιναβικές χώρες και τις ΗΠΑ. Υπό ανάπτυξη βρίσκεται η καύση ενεργειακών καλλιεργειών σε ειδικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και είναι σε εξέλιξη κάποια επιδεικτικά έργα. Η καύση της βιομάζας μπορεί να διακριθεί σ' ένα φάσμα διαφορετικών τεχνολογιών που μπορούν να ταξινομηθούν ως καύση είτε "σταθερής κλίνης" είτε "ρευστοποιημένης κλίνης".

Καύση σταθερής κλίνης

Η καύση σταθερής κλίνης, επίσης γνωστή ως τροφοδοτούμενη καύση, χρησιμοποιεί μηχανικές διατάξεις που τροφοδοτούν και αναφλέγουν το καύσιμο σε μια κλίνη στη βάση της καμίνου. Ο αέρας της καύσης διέρχεται μέσα από τη σχάρα επάνω στην οποία κάθετα το καύσιμο. Η παροχή του αέρα περιορίζεται έτσι ώστε το καύσιμονα μην αναδεύεται και να παραμένει σε επαφή με άλλα στερεά. Οι καυστήρες σταθερής κλίνης μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη μέθοδο με την οποία τροφοδοτείται το καύσιμο στη σχάρα.

Στους τροφοδότες υπερπλήρωσης (ή τροφοδότες κινούμενων σχαρών) το καύσιμο τροφοδοτείται με τη βαρύτητα στο ένα άκρο της επιφάνειας της σχάρας και το βάθος της επιφάνειας του ρυθμίζεται από μια θύρα καυσίμου στην είσοδο της καμίνου. Η σχάρα μετακινείται αργά κατά μήκος της καμίνου όπως ένας ανοικτός ταινιόδρομος, ενώ η τέφρα και τα κατάλοιπα αποβάλλονται συνεχώς στο άλλο άκρο της σχάρας. Αυτό το είδος σχάρας έχει σχεδιαστεί για καύση άνθρακα. Εάν καίγεται βιομάζα, τότε μπορεί τα κόστη συντήρησης να είναι υψηλότερα και να μειωθεί η αποδοτικότητα του λέβητα λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών του αέρα καύσης.

Οι τροφοδότες διασκορπισμού περιλαμβάνουν μία αερόψυκτη μετακινούμενη σχάρα, αλλά αξιοποιούν το πλεονέκτημα της καύσης εν αιωρήσει. Οι διανομείς του καυσίμου ωθούν το καύσιμο μέσα στην εστία επάνω από μια αναφλέγουσα κλίνη καυσίμου (ανάλογα με το είδος του καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε μηχανικοί είτε πνευματικοί ρίπτες). Τα λεπτά σωματίδια καίγονται αιωρούμενα ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια πέφτουν και καίγονται στην κινούμενη σχάρα. Λόγω της αρχής της καύσης εν αιωρήσει, τα καύσιμα πρέπει να είναι σχετικά ξηρά (περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 50%) και να έχουν το κατάλληλο μέγεθος.

Πρέπει να διατηρείται ένα στρώμα τέφρας στη σχάρα για να την προστατεύει από τη θερμική διάβρωση που μπορεί να προκύψει από τη διακοπτόμενη λειτουργία της. Η τέφρα της βιομάζας είναι συχνά τριπτική καθώς περιέχει πολύ πυρίτιο, το οποίο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα κόστη συντήρησης της σχάρας. Ένα επιπλέον μειονέκτημα αυτού του τύπου της καύσης είναι ότι μπορεί να υφίσταται σημαντικό ποσό αιωρούμενης τέφρας και άκαυστου άνθρακα στα καυσαέρια, το οποίο επιφέρει μειωμένες αποδόσεις της καύσης και του λέβητα. Αντιθέτως, πλεονέκτημα θεωρείται η ικανότητα ανταπόκρισης αυτών των τροφοδοτών στις μεταβολές του φορτίου με τη ρύθμιση της ταχύτητας μετακίνησης και του αέρα εισόδου.

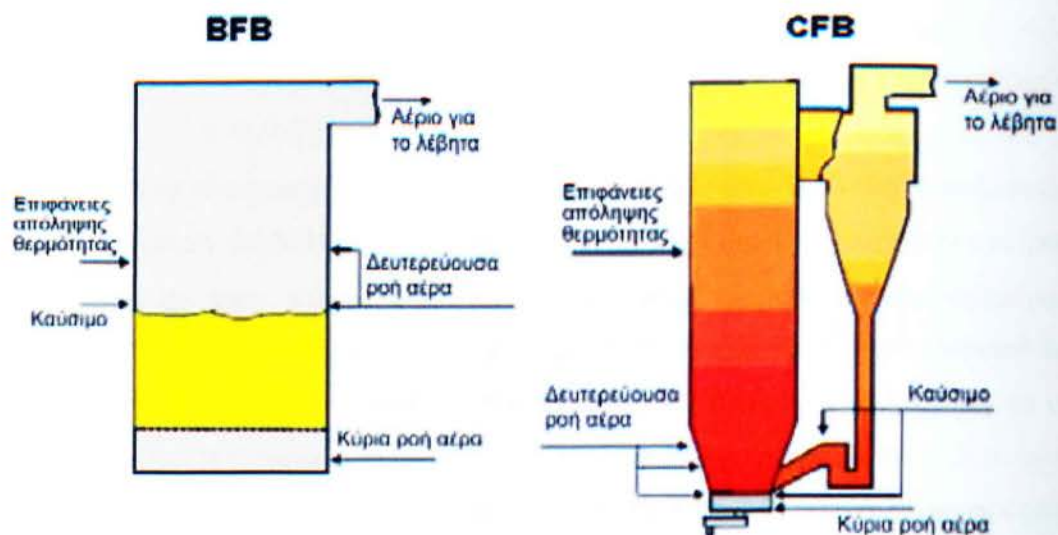
Η εστία επικλινούς σχάρας είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη στα συστήματα καύσης βιομάζας. Επιτρέπει την προξήρανση του καυσίμου στο επάνω μέρος της καμίνου πριν αυτό πέσει λόγω βαρύτητας σε μια παλινδρομούσα χαμηλότερα μέσα στην εστία σχάρα, όπου λαμβάνει χώρα η καύση. Καθώς η σχάρα είναι υδρόψυκτη ή αερόψυκτη, δεν χρειάζεται στρώμα τέφρας για την προστασία της, πράγμα που την κάνει καταλληλότερη για καύσιμα βιομάζας χαμηλής τέφρας.

Καύση ρευστοποιημένης κλίνης

Η καύση ρευστοποιημένης κλίνης χαρακτηρίζεται από την υψηλή ταχύτητα του αέρα μέσα στην κλίνη του καυσίμου που του προσδίδει ιδιότητες ρευστού. Η κλίνη περιέχει κανονικά αδρόκοκκη άμμο που βοηθά την ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα και αυξάνει τη μεταφορά θερμότητας στο καύσιμο για την ξήρανση και ανάφλεξη του. Ο διαχωρισμός του καυσίμου και των άλλων σωματιδίων της κλίνης γίνεται επάνω από την «ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης», η οποία είναι συνάρτηση του μεγέθους των κόκκων, της πυκνότητας και της πτώσης πίεσης μέσω της κλίνης. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα, η κλίνη μπορεί να μετατραπεί από κοχλάζουσα σε τυρβώδη και κατόπιν σε περιδινούμενη κλίνη με αυξανόμενους ρυθμούς ανακύκλωσης.

Οι εμπορικές διατάξεις ταξινομούνται είτε ως καύσης κοχλάζουσας ρευστοποιημένης κλίνης (BFB) είτε ως καύσης περιδινούμενης ρευστοποιημένης κλίνης (CFB), μπορεί να βρίσκονται υπό πίεση ή όχι και να χρησιμοποιούν αέρα ή οξυγόνο. Στο σύστημα BFB η ταχύτητα του αέρα είναι συνήθως 1-3 m/s προκαλώντας διαταραχή στην άμμο της κλίνης και διαχωρισμό των κόκκων. Το κύριο ρεύμα του αέρα τροφοδοτείται στον πυθμένα της κλίνης μέσω ακροφυσίων από αεροφυλάκιο, ενώ ο δευτερεύων αέρας ρέει στην εστία επάνω από την κλίνη. Η θερμοκρασία της κλίνης διατηρείται και ελέγχεται τροποποιώντας το λόγο του κύριου και του δευτερεύοντος αέρα, ή με την επανακυκλοφορία μέρους των καυσαερίων.

Σ' ένα σύστημα CFB η ταχύτητα του αέρα επάνω από το αεροφυλάκιο είναι συνήθως 4-9 m/s. Η άμμος μπορεί να κυκλοφορεί στην εστία βοηθώντας τη μετάδοση της θερμότητας. Τα καυσαέρια και τα παρασυρόμενα στερεά αφήνουν την εστία και περνούν μέσα από κυκλώνες που συλλέγουν τα σωματίδια και τα επιστρέφουν στην περιοχή ακριβώς επάνω από το αεροφυλάκιο. Όπως και στο λέβητα BFB, υπάρχουν τροφοδοσίες κύριου και δευτερεύοντος αέρα (βλ. σχήμα 3.71). Δεν υπάρχει διακριτή επιφάνεια κλίνης και η καύση γίνεται σε όλη την εστία. Τα συστήματα CFB είναι εν γένει πιο ακριβά από τις άλλες επιλογές, αλλά μειώνουν σημαντικά τις εκπομπές NOx λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας.



Σχήμα 3.71. Λέβητες BFB και CFB

Οι καυστήρες ρευστοποιημένης κλίνης είναι τεχνικά πολυπλοκότεροι με αντίστοιχα μεγαλύτερα κόστη σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας. Γενικά, υπάρχει ένα όριο στην περιοχή των 8 MW_{th} επάνω από το οποίο αρχίζουν να πλεονεκτούν οικονομικά έναντι των καυστήρων σταθερής κλίνης. Από την άλλη, η καύση ρευστοποιημένης κλίνης εμφανίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα έναντι της σταθερής κλίνης:

- Η υψηλή θερμική αδράνεια της κλίνης παρέχει συνθήκες για σταθερή ανάφλεξη, ασχέτως προς τη μεταβλητότητα της ποιότητας του καυσίμου. Επομένως, είναι ανθεκτική σε μεγαλύτερο εύρος χαρακτηριστικών των καυσίμων.
- Ο έλεγχος της θερμοκρασίας της κλίνης επιτρέπει τη χρήση ποικιλίας καυσίμων με διάφορες ιδιότητες τέφρας, ενώ αποφεύγεται η τήξη της τέφρας στην κλίνη.
- Οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες καύσης σημαίνουν και χαμηλές εκπομπές NO_x .
- Αν προστεθεί ασβεστόλιθος στο υλικό της κλίνης τότε είναι δυνατή η επιτόπια δέσμευση του SO_2 , αν και αυτό δεν είναι απαραίτητο για τα καύσιμα βιομάζας αφού έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Στο εμπόριο διατίθενται μονάδες BFB μέχρι 100 MWe και CFB μέχρι $400\text{-}600 \text{ MWe}$. Οι λέβητες CFB έχουν αποδεδειγμένη δυνατότητα καύσης περίπου 70 διαφορετικών καυσίμων, μόνα ή με σύγκαυση. Οι λέβητες BFB έχουν αποδείξει την εφικτότητά τους για καύσιμα βιομάζας ή αποβλήτων μεόμοια χαρακτηριστικά ειδικά στις μικρότερες ισχύεις, αρχίζοντας από τα 5 MW_{th} με καλά επεξεργασμένο καύσιμο. Μια βελτιωμένη έκδοση των CFB

προσφέρει μια ακόμα πιο ανταγωνιστική, ευέλικτη και φιλική προς το περιβάλλον λύση για την καύση των κατώτερης ποιότητας καυσίμων και διάφορων αποβλήτων σε μικρότερης κλίμακας μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (<10 MW_e).

Καυστήρες αιώρησης

Μια πρόσφατη εξέλιξη που χρησιμοποιείται σε σχετικά λίγες εγκαταστάσεις αποτελεί η εν αιωρήσει καύση κονιορτοποιημένου ξύλου σε ειδικούς λέβητες βιομάζας. Η εν αιωρήσει καύση έχει επίσης εφαρμοσθεί σε ασβεστοκάμινους και μελετάται από τη βιομηχανία ηλεκτρισμού για εφαρμογές σύγκαισης. Οι απαιτήσεις για επιτυχημένη εν αιωρήσει καύση, δηλ. υγρασία τροφοδοσίας κάτω από 15% και μέγεθος σωματιδίου μικρότερο από 1,5 mm, επιφέρουν υψηλότερες αποδόσεις του λέβητα (έως 80%) σε σχέση με την καύση τσιπ υγρού ξύλου υγρασίας 50-55% σε συστήματα τροφοδότη σχάρας ή ρευστής κλίνης αποδοτικότητας 65%.

Καλύτερη απόδοση επίσης προκύπτει με το μικρότερο μέγεθος εστίας. Η υψηλότερη απόδοση αντισταθμίζεται από το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας για ξήρανση και θρυμματισμό. Επιπλέον, πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικοί καυστήρες, π.χ. οι σπειροειδείς κυκλωνικοί και οι κατακόρυφοι κυλινδρικοί. Στις εγκαταστάσεις αυτού του είδους περιλαμβάνονται η μονάδα Oxford Energy ισχύος 27 MW στο Williams της Καλιφόρνια, το εργοστάσιο ξυλείας για εσωτερικές επενδύσεις ASSI Lovholmen στη Pitea της Φινλανδίας, ο μύλος Klabin do Parana στο Monte Alegre της Βραζιλίας, και ο μύλος E.B. Eddy στην Espanola του Οντάριο.

3.8.3.3. Σύγκαιση με άνθρακα

Περιγραφή

Η βιομάζα αποτελεί οικονομική πηγή όταν το καύσιμο είναι πολύ φθηνό ή δωρεάν. Τότε η αποδοτικότητα δεν αποτελεί βασικό οικονομικό κριτήριο και, ως εκ τούτου, οι υφιστάμενες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας έχουν θερμικές τιμές στο εύρος από 13.000 έως 20.000 Btu/kWh ή/και υψηλότερες, όταν οι ατμολέβητες με καύσιμο άνθρακα της

βιομηχανίας ηλεκτροπαραγωγής έχουν πολύ καλύτερες θερμικές τιμές, της τάξης των 9.000 έως 13.000 Btu/kWh. Πάντως, ένας αριθμός μεγάλων εταιρειών ηλεκτρισμού διεθνώς αξιολογούν τη σύγκausη βιομάζας σε υφιστάμενους σταθμούς άνθρακα, κυρίως λόγω των περιβαλλοντικών οφελών που μπορεί να προκύψουν.

Η σύγκausη βιομάζας-άνθρακα, δηλαδή η ταυτόχρονη καύση δυο διαφορετικών καυσίμων στον ίδιο λέβητα, συντελεί στη μείωση των εκπομπών CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων, του σχηματισμού SO₂ μέσω της ελάττωσης του δέσμιου στο καύσιμο θείου, του σχηματισμού NO_x μέσω της ελάττωσης του δέσμιου στο καύσιμο αζώτου, ενώ παρέχει και έναν τρόπο για την αντιμετώπιση των εκπομπών τοξικών ουσιών στον αέρα. Όταν γίνεται σύγκausη με βιομάζα, η ποσοστιαία μείωση του CO₂ για τη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής είναι περίπου ίση με το ποσοστό της συνολικής εισαγόμενης θερμότητας στο λέβητα που προέρχεται από τις πρώτες ύλες βιομάζας.

Εξάλλου, στα εν δυνάμει οφέλη της σύγκausης με καύσιμα βιομάζας περιλαμβάνεται η τροφοδοσία με χαμηλού κόστους καύσιμα, η αύξηση της ποικιλίας καυσίμων για τις εταιρείες ηλεκτρισμού και η παροχή διεξόδου για τα υπολείμματα των βιομηχανικών πελατών. Η σύγκausη εκμεταλλεύεται τα καλύτερα στοιχεία κάθε τεχνολογίας και καθιστά δυνατή την επίτευξη πολύ καλύτερης απόδοσης μετατροπής των καυσίμων βιομάζας σε ηλεκτρισμό, σε σύγκριση με τη συνήθη πρακτική στους λέβητες που χρησιμοποιούν 100% βιομάζα ως καύσιμο. Έτσι μπορούν να επιτευχθούν θερμικές τιμές της τάξης των 11.000 Btu/kWh, όταν στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο ξύλο η αντίστοιχη τιμή είναι 14.000 ή παραπάνω.

Από την άλλη, δοκιμές και υπολογισμοί πιστοποιούν ότι, όταν γίνεται σύγκausη με το 7-10% της εισροής θερμότητας να προέρχεται από βιομάζα, η πτώση στη συνολική απόδοση του λέβητα κυμαίνεται από 0,3 έως 1,0 μονάδες της συνήθους στις δοκιμές τιμές του 85% περίπου για τους λέβητες άνθρακα. Έτσι, υφίσταται ένα αντίτιμο απόδοσης λόγω του ποσοστού βιομάζας που μετατρέπεται λιγότερο αποδοτικά απ' ό,τι αυτό του άνθρακα. Πάντως, οι αριθμοί αυτοί δείχνουν ότι το αντίτιμο είναι μικρό σε σχέση με τη μεγάλη διαφορά μεταξύ των ήδη εν χρήσει λεβήτων βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή και των υφιστάμενων στη βιομηχανία ηλεκτρισμού λεβήτων άνθρακα, το οποίο κυμαίνεται από 3% (το 0,3% του 100/10 διαιρούμενο με 0,85) μέχρι ένα μέγιστο 16% (το 1,0% του 100/7 διαιρούμενο με 0,85).

Τροποποιήσεις και αναλογούντα κόστη

Τα πιο κρίσιμα στοιχεία όσον αφορά το κόστος της λειτουργίας της σύγκρασης είναι το κόστος του καυσίμου και το κόστος κεφαλαίου των μετατροπών του σταθμού ισχύος ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκραση του καυσίμου βιομάζας με τον άνθρακα. Η οικονομικότητα της σύγκρασης βιομάζας καθορίζεται από το κατά πόσο τα οφέλη στις δαπάνες για καύσιμα, μέσω των καυσίμων βιομάζας που αντικαθιστούν τον πιο ακριβό άνθρακα, μπορούν να υπερκαλύψουν το κόστος μετασκευής της μονάδας και οποιαδήποτε προστιθέμενα κόστη εργατικών και συντήρησης προκύπτουν από τη λειτουργία του συστήματος σύγκρασης.

Το κόστος καυσίμου εδώ είναι στην πραγματικότητα η διαφορά μεταξύ του κόστους του καυσίμου βιομάζας και του κόστους του άνθρακα που αντικαθίσταται από αυτό. Τα κόστη κεφαλαίου για την ανέγερση μιας διάταξης σύγκρασης διαφέρουν ανάλογα με το εάν η βιομάζα αναμιγνύεται με τον άνθρακα ή καίγεται χωριστά από αυτόν. Η ανάμιξη δεν απαιτεί ξεχωριστή οδό ροής και ψεκασμού για το καύσιμο βιομάζας και είναι συνήθως πολύ φθηνότερη, της τάξης των \$50/kW έναντι των \$200/kW για τη χωριστή τροφοδοσία. Σημειώνεται ότι αυτά τα κόστη εκφράζονται ανά μονάδα ισχύος της βιομάζας και όχι της συνολικής ισχύος της μονάδας.

Έτσι, ένας λέβητας 100MWe με σύγκραση στο 10% της θερμότητας λαμβάνει 10MWe από το καύσιμο βιομάζας και το κόστος των \$200/kW των βασικών μετατροπών για ένα σύστημα χωριστής τροφοδοσίας σημαίνει ένα συνολικό κεφάλαιο \$2.000.000 για τη μετασκευή. Το μοναδιαίο κόστος ανά μονάδα συνολικής ισχύος είναι \$20/kW. Για ένα λέβητα άνθρακα 250 MWe με συστημανάμιξης καυσίμων που παρέχει τη δυνατότητα σύγκρασης στο 2% της θερμότητας, η ισχύς από βιομάζα είναι 5 MWe και το ανά μονάδα κόστος των \$50/kW συνεπάγεται ένα σύνολο \$250.000. Ανά μονάδα συνολικής ισχύος του λέβητα, αυτή αποτελεί μια δαπάνη της τάξης του \$1/kW.

Στις συνήθεις μονάδες άνθρακα, δηλαδή αυτές που καταναλώνουν κονιορτοποιημένο άνθρακα και είναι γνωστές ως "λέβητες PC", η διαφορά μεταξύ της αναμεμιγμένης και χωριστής τροφοδοσίας σχετίζεται με μια βασική διαφοροποίηση στο κλάσμα της εισροής θερμότητας στο λέβητα που μπορεί να προέλθει από το καύσιμο βιομάζας, το γνωστό ως "επίπεδο σύγκρασης". Στο ανωτέρω παράδειγμα της αναμεμιγμένης τροφοδοσίας το επίπεδο αυτό ήταν 2%, που σημαίνει ότι το 2% της θερμότητας στο λέβητα οφείλεται στο κλάσμα

της βιομάζας, βάσει των θερμογόνων δυνάμεων (σε Btu/lb ή kJ/kg) και των παροχών μάζας των καυσίμων. Η περίπτωση της χωριστής τροφοδοσίας αντιστοιχούσε σε επίπεδο σύγκαυσης 10%.

Αυτά τα παραδείγματα του 2% για αναμεμιγμένη και 10% για χωριστή τροφοδοσία αποτελούν τυπικά παραδείγματα σύγκαυσης στους συνήθεις λέβητες PC. Στους πιο σπάνιους λέβητες κυκλωνικού τύπου υπάρχει μια βασική διαφορά, καθώς οι λέβητες αυτοί καταναλώνουν θρυμματισμένο, αντί για κονιορτοποιημένο, άνθρακα, μπορούν δηλ. να καίνε επιτυχώς άνθρακα με μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων καθώς λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Οι καυστήρες είναι μεγάλοι κυκλωνικοί κύλινδροι με οριζόντιο προσανατολισμό όπου μεγάλοι κόκκοι του άνθρακα καίγονται σε μια δίνη υγρού που σχηματίζεται από τηγμένη τέφρα στα τοιχώματα των κυλίνδρων.

Δεδομένου ότι επιδέχονται μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων καυσίμου και δεν απαιτούν το άλεσμα του καυσίμου σε πολύ μικρό μέγεθος, καθώς μάλιστα δεν διαθέτουν καν τους μύλους που κονιορτοποιούν όλη την τροφοδοσία καυσίμου στους λέβητες PC, στις κυκλωνικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής δεν ισχύει το όριο του 2% στο επίπεδο της σύγκαυσης που εφαρμόζεται στις περισσότερες μονάδες PC. Το επίπεδο του 10% σ' έναν κυκλωνικό λέβητα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της μεθόδου τροφοδοσίας αναμεμιγμένου καυσίμου, η οποία είναι οικονομικότερη τόσο από την άποψη της λειτουργίας όσο και από αυτήν του αρχικού κεφαλαίου.

Στην τροφοδοσία αναμεμιγμένου καυσίμου η ανάμιξη του καυσίμου βιομάζας με τον άνθρακα γίνεται κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας της εργατοημέρας, και το καύσιμο παρέχεται στο λέβητα καθ' όλη την ημέρα χωρίς επιπλέον ειδική εργασία. Η χωριστή τροφοδοσία πλεονεκτεί στο ότι ανά πάσα στιγμή ελέγχεται η προσθήκη ή αφαίρεση σύγκαυσης βιομάζας, που όμως αντισταθμίζεται από την αμοιβή του πρόσθετου μέλους του προσωπικού λειτουργίας που απαιτείται σε κάθε βάρδια. Ίσως υπάρξουν αυτόματα συστήματα ώστε να περιοριστεί η ανάγκη για επιπλέον προσωπικό σε όλες τις βάρδιες, τα οποία όμως μπορεί να προσθέσουν κόστη κεφαλαίου και συντήρησης που θα μειώσουν ή εξαλείψουν τα όποια οφέλη στα λειτουργικά έξοδα.

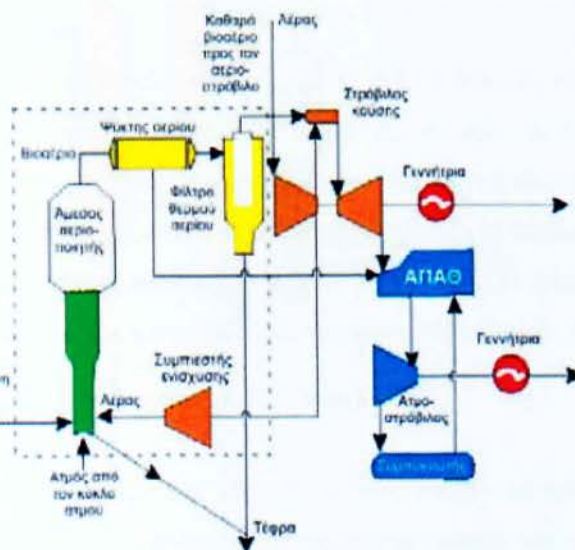
3.8.3.4. Ηλεκτροπαραγωγή με αεριοποίηση της βιομάζας

Περιγραφή του συστήματος

Η αεριοποίηση της βιομάζας, δηλαδή η μετατροπή της σε αέριο καύσιμοχαμηλής ή μέσης θερμογόνου δύναμης, περιλαμβάνει δύο διεργασίες. Η πρώτη, η πυρόλυση, μέσω μιας σειράς σύνθετων αντιδράσεων απελευθερώνει σε θερμοκρασίες κάτω των 600°C τα πτητικά συστατικά του καυσίμου, στα οποία περιλαμβάνονται αέριοι υδρογονάνθρακες, CO, CO₂, υδρογόνο, πίσσες και υδρατμοί. Τα καύσιμα βιομάζας τείνουν να έχουν περισσότερα πτητικά συστατικά (70-86% σε ξηρά βάση) από τον άνθρακα (30%), οπότε η πυρόλυση είναι αναλογικά σημαντικότερη στην αεριοποίηση της βιομάζας απ' ό,τι σε αυτήν του άνθρακα.

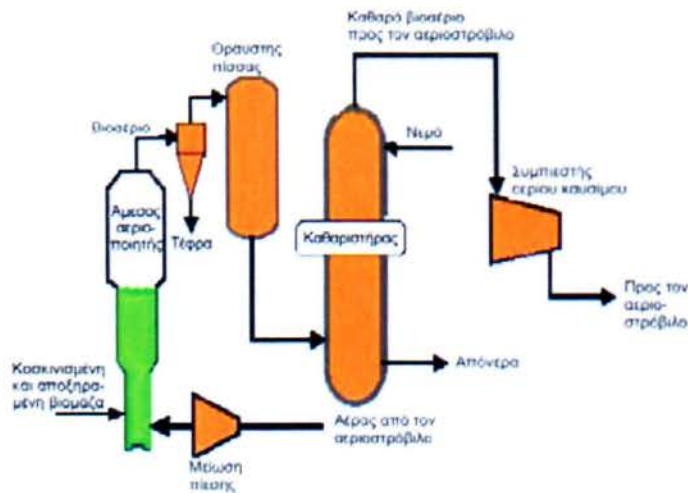
Τα υποπροϊόντα της πυρόλυσης που δεν αεριοποιούνται είναι γνωστά ως κάρβουνο και αποτελούνται κυρίως από στερεό άνθρακα και τέφρα. Στη δεύτερη διεργασία της αεριοποίησης, τη μετατροπή του κάρβουνου, ο άνθρακας που παραμένει μετά την πυρόλυση υφίσταται την κλασική αντίδραση αεριοποίησης (δηλ. ατμός + άνθρακας) και/ή καύση, η οποία παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την πραγμάτωση των αντιδράσεων της πυρόλυσης και αεριοποίησης του κάρβουνου. Λόγω της υψηλής της αντιδραστικότητας (σε σχέση με τον άνθρακα και άλλα στερεά καύσιμα), όλη η τροφοδοτούμενη βιομάζα, περιλαμβανομένου του κάρβουνου, κανονικά μετατρέπεται σε προϊόντα αεριοποίησης σε ένα μόνο πέρασμα μέσω μιας διάταξης αεριοποιητή.

Σχήμα 3.72. Σχηματική παράσταση ενός συστήματος συνδιασμένου κύκλου με ενσωματωμένη αεριοποίηση βιομάζας (IGCC)

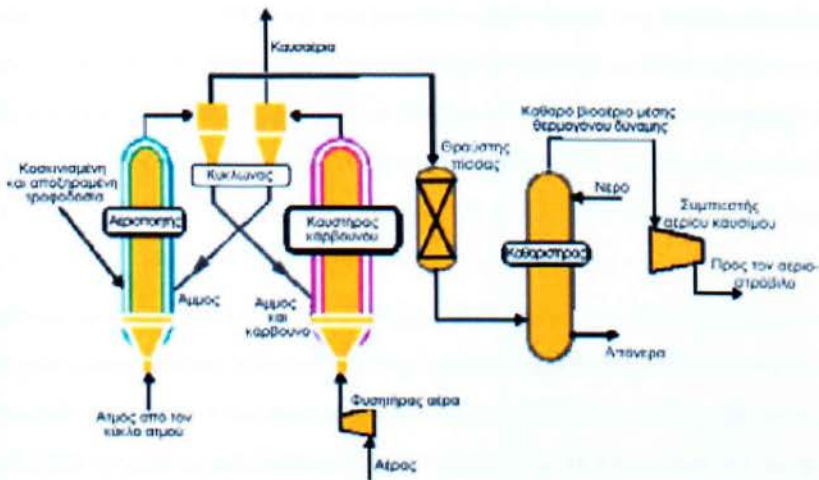


Ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου αεριοποιητή, οι ανωτέρω αντιδράσεις μπορούν να λάβουν χώρα σε ένα μόνο δοχείο αντιδραστήρα ή να διαχωριστούν σε διαφορετικά δοχεία. Στους άμεσους αεριοποιητές η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η καύση γίνονται σε ένα δοχείο, ενώ στους έμμεσους η πυρόλυση και η αεριοποίηση γίνονται σε ένα δοχείο και η καύση σε άλλο. Στο σύστημα συνδυασμένου κύκλου με ενσωματωμένη αεριοποίηση (IGCC) του σχήματος 3.72, εντός της διακεκομμένης γραμμής διακρίνεται ένας άμεσος αεριοποιητής υψηλής πίεσης. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται και οι άλλες δυνατές επιλογές αεριοποιητών, ειδικότερα ο άμεσος αεριοποιητής χαμηλής πίεσης (σχ. 3.73) και ο έμμεσος αεριοποιητής (σχ. 3.74).

Στην άμεση αεριοποίηση, εισάγεται απευθείας αέρας και ενίοτε ατμός στο μοναδικό δοχείο του αεριοποιητή. Στην έμμεση αεριοποίηση, ένα αδρανές μέσο μεταφοράς της θερμότητας, π.χ. άμμος, μεταφέρει την παραγόμενη στον καυστήρα θερμότητα προς τον αεριοποιητή για να ενεργοποιηθούν οι αντιδράσεις πυρόλυσης και αεριοποίησης του κάρβουνου. Οι έμμεσοι αεριοποιητές λειτουργούν με σχεδόν ατμοσφαιρική πίεση, ενώ συστήματα άμεσης αεριοποίησης έχουν αναπτυχθεί και για μεγαλύτερες πιέσεις. Όλοι οι αεριοποιητές μπορούν να ενταχθούν στο ευρύτερο σύστημα του σχήματος 3.72 και έχουν χρησιμοποιηθεί σε μία τουλάχιστον πρόσφατη μελέτη σχεδίασης.



Σχήμα 3.73. Άμεσος αεριοποιητής χαμηλής πίεσης



Σχήμα 3.74. Έμμεσος αεριοποιητής

Πάντως, υπάρχουν αρκετοί πρακτικοί περιορισμοί σε κάθε τύπο αεριοποιητή. Λόγω της αραιωτικής επίδρασης του αζώτου του αέρα, το αέριο καύσιμο από έναν άμεσο αεριοποιητή έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη ($5,6-7,5 \text{ MJ/Nm}^3$), οπότε απαιτείται αυξημένη ροή καυσίμου προς τον αεριοστρόβιλο. Έτσι, για να διατηρηθεί η συνολική παροχή μάζας (καυσίμου + αέρα) μέσα από το στρόβιλο εντός των ορίων σχεδίασης, συνήθως αφαιρείται μία ποσότητα αέρα από τον συμπιεστή και χρησιμοποιείται στον αεριοποιητή, η οποία είτε ενισχύεται ελαφρώς σε πίεση είτε εκτονώνεται σε σχεδόν ατμοσφαιρική πίεση, ανάλογα με την πίεση λειτουργίας του άμεσου αεριοποιητή.

Ηθερμογόνο δύναμη του αερίου καυσίμου μπορεί να αυξηθεί σε $12,8-13,8 \text{ MJ/Nm}^3$ εάν αντί για αέρα χρησιμοποιηθεί οξυγόνο, αν και η παραγωγή του είναι ακριβή. Καθώς οι αντιδράσεις παραγωγής του καυσίμου στον έμμεσο αεριοποιητή γίνονται σε χωριστό δοχείο, το παραγόμενο αέριο καύσιμο δεν περιέχει αραιωτικά αζώτου και είναι μέσης θερμογόνου δύναμης ($13-18,7 \text{ MJ/Nm}^3$), αρκετά κοντά σ' αυτήν του φυσικού αερίου ($\sim 38 \text{ MJ/Nm}^3$). Έτσι, το αέριο καύσιμο από έναν έμμεσο αεριοποιητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μη τροποποιημένο αεριοστρόβιλο χωρίς εξαέρωση.

Η πίεση λειτουργίας του αεριοποιητή επηρεάζει όχι μόνο το κόστος και το μέγεθος του εξοπλισμού, αλλά και τις διασυνδέσεις με την υπόλοιπη εγκατάσταση, μεταξύ των οποίων και τα απαραίτητα συστήματα καθαρισμού. Καθώς οι αεριοστρόβιλοι λειτουργούν σε αυξημένες πιέσεις, το παραγόμενο από τους αεριοποιητές χαμηλής πίεσης αέριο καύσιμο

πρέπει να συμπιέζεται. Αυτό ευνοεί τον καθαρισμό σε χαμηλή θερμοκρασία, αφού σε κάθε περίπτωση το αέριο καύσιμο πρέπει να ψύχεται πριν από τη συμπίεση. Ο αέρας για έναν αεριοποιητή χαμηλής πίεσης μπορεί να εξαχθεί από τον αεριοστροβίλο και να ελαττωθεί η πίεση του (άμεσος, χαμηλής πίεσης αεριοποιητής) ή να παρασχεθεί ανεξάρτητα (έμμεσος αεριοποιητής).

Η υψηλής πίεσης αεριοποίηση ευνοεί τον θερμό, υπό πίεση καθαρισμό του καυσίμου αερίου και την τροφοδοσία του στον θάλαμο καύσης του αεριοστροβίλου σε υψηλή θερμοκρασία (~ 538°C) και ικανοποιητικά υψηλή πίεση για τον έλεγχο της ροής και της πτώσης πίεσης στο θάλαμο καύσης. Ο αέρας για έναν υψηλής πίεσης άμεσο αεριοποιητή εξάγεται από τον αεριοστροβίλο και συμπιέζεται πριν από την εισαγωγή του στον αεριοποιητή. Πάντως, για να υπάρξει πλήρης εκμετάλλευση της λειτουργίας υπό πίεση, πρέπει να αναπτυχθεί ένας αριθμός βοηθητικών συστημάτων.

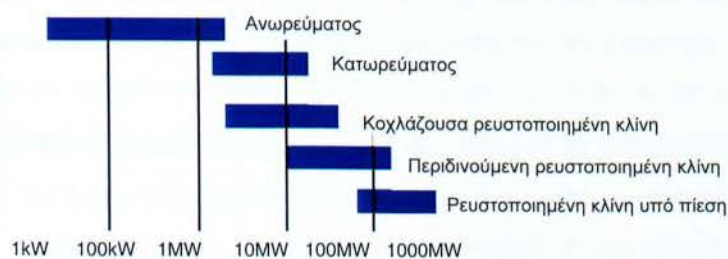
Η ψύξη, ο εν ψυχρώ καθαρισμός και η συμπίεση του αερίου καυσίμου επιβαρύνουν με εξοπλισμό ένα σύστημα έμμεσου αεριοποιητή και μειώνουν την απόδοση του έως και 10%. Από την άλλη, τα υψηλής πίεσης λειτουργίας δοχεία του αεριοποιητή και καθαρισμού του αερίου και τα εξεζητημένα συστήματα τροφοδοσίας προσθέτουν κόστη και πολυπλοκότητα στα συστήματα αεριοποίησης υψηλής πίεσης, παρά τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα τους. Από τα αποτελέσματα αρκετών μελετών προκύπτει ότι, προς το παρόν, υπάρχει μικρή διαφορά στο κόστος του ηλεκτρισμού μεταξύ των συστημάτων που εφαρμόζουν αεριοποίηση υψηλής και χαμηλής πίεσης.

Άλλη βασική παράμετρος είναι ο τύπος του αντιδραστήρα αεριοποίησης. Αυτοί κατά βάση λειτουργούν με τις ίδιες με τους παρεμφερείς θαλάμους καύσης αρχές και περιλαμβάνουν μονάδες σταθερής/κινητής κλίνης (κατωρεύματος ή ανωρεύματος), διάφορα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης, και αντιδραστήρες συρόμενης κλίνης.

Εξ αυτών, η σταθερή/κινητή κλίνη είναι η πιο απλή στην κατασκευή, τον έλεγχο και τη λειτουργία, και το σύστημα κατωρεύματος μπορεί να παράγει αέριο που απαιτεί μόνο περιορισμένο καθαρισμό ως προς την πίσσα και τα σωματίδια ώστε να καταστεί κατάλληλο για καύση σε μηχανές εσωτερικής καύσης και αεριοστροβίλους.

Ένα άλλο σημαντικό γνώρισμα της μονάδας αυτής είναι ότι, με τη χρήση προσθέτων όπως ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης μπορούν να παραμείνουν στην τέφρα μεγάλα ποσά όξινων αερίων (υδροχλώριο και υδρόθειο). Τα συστήματα ρευστοποιημένης και συρόμενης κλίνης, από την άλλη, παρότι ευπροσάρμοστα, είναι γενικά πιο δύσκολα στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία τους, πιο ακριβά, και προς το παρόν θεωρούνται ακατάλληλα για μικρής κλίμακας εφαρμογές κάτω του 1 MW.

Η επιλογή για μία εφαρμογή από ένα μεγάλο εύρος αεριοποιητών καθορίζεται από τα οικονομικά, και είναι συνάρτηση του μεγέθους, του τύπου και της διαθεσιμότητας του καυσίμου. Το σχήμα 3.75 παρουσιάζει την ενδεδειγμένη επιλογή ανάλογα με τον τύπο και την ικανότητα του καυσίμου, παρότι πολλές από τις τεχνολογίες δεν έχουν ακόμα δοκιμαστεί στην αναγραφόμενη κλίμακα. Επιδεικτικά έργα επαληθεύουν το δυναμικό των τεχνολογιών της βιομάζας, ειδικότερα στις μεγάλες κλίμακες, αν και οι πλήρως εμπορικές εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής ακόμη κυοφορούν υψηλά τεχνικά ρίσκα.



Σχήμα 3.75. Δυναμικό εφαρμογής διάφορων τύπων αεριοποιητών βιομάζας

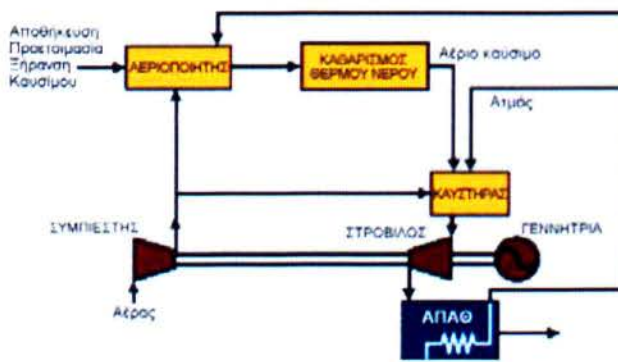
Επιλογές κύκλου ισχύος

Η αεριοποίηση και η παραγωγή καθαρού αερίου καυσίμου παρέχει ένα ευρύ φάσμα επιλογών ισχύος, όπως είναι η χρήση προηγμένων συστημάτων ισχύος με καλύτερες αποδοτικότητες από αυτές των αμοστροβίλων. Στο κάτω όριο της κλίμακας κόστους, οι αεριοποιητές που συνδυάζονται με έναν υψηλής απόδοσης αεριοστρόβιλο απλού κύκλου παρέχουν απλότητα και αποδοτικότητες συγκρίσιμες με αυτές του κύκλου Rankine. Ένας αεριοποιητής βιομάζας ρευστοποιημένης κλίνης (που δεν χρειάζεται απαραίτητα ατμό) μπορεί να αποτελεί την καλύτερη επιλογή γι' αυτόν το συνδυασμό.

Παραδοσιακά, η φτωχή απόδοση υπό μερικό φορτίο έχει περιορίσει τη χρήση των αεριοστροβίλων απλού κύκλου για ηλεκτροπαραγωγή αιχμής. Σύμφωνα με την τάση που διαμορφώνεται στις μεγάλης κλίμακας μονάδες, οι συνδυασμένοι κύκλοι αερίου και ατμού μαζί με τις παραλλαγές τους (π.χ. αεριοστρόβιλος έγχυσης ατμού - STIG, στρόβιλος υγρού αέρα - HAT) παρέχουν αποδοτικότητες του κύκλου ισχύος που πλησιάζουν το 50% (6800 Btu/kWh). Η τεχνολογία αυτή είναι εμπορικά διαθέσιμη και αναμένεται να βελτιωθεί όσο οι κατασκευαστές των στροβίλων συναγωνίζονται για βελτιωμένη αποδοτικότητα, ρύθμιση των NO_x και διαθεσιμότητα.

Ο αεριοστρόβιλος έγχυσης ατμού αποτελεί μία διασκευή του συνδυασμένου κύκλου, στον οποίο τα καυσαέρια του στροβίλου χρησιμοποιούνται σ' έναν ατμοπαραγωγό ανάκτησης θερμότητας (ΑΠΑΘ), παρέχοντας ευελιξία για εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού/ατμού. Όταν μειώνεται η ζήτηση για ατμό διεργασιών, ο ατμός από τον ΑΠΑΘ μπορεί να εγχυθεί στο θάλαμο καύσης και/ή στις βαθμίδες του στροβίλου. Ο εγχυόμενος ατμός αποτελεί πρόσθετη μάζα που χρησιμοποιείται για να υποβοηθηθεί η οδήγηση του στροβίλου χωρίς να καταναλώνεται ισχύς στον συμπιεστή.

Καθώς η ειδική θερμότητα του μίγματος ατμού/αέρα είναι διπλάσια αυτής του αέρα, όταν χρησιμοποιείται έγχυση ατμού μπορεί να εξαχθεί περισσότερη ισχύς από τον στρόβιλο, ενώ ελαττώνονται η φλόγα και οι θερμοκρασίες του αερίου και εμποδίζεται ο ανεξέλεγκτος σχηματισμός NO_x έως και κατά 80%. Με την προσθήκη διάψυξης του συμπιεστή στον κύκλο STIG (ISTIG - σχ. 3.76) μπορεί μέχρι και να διπλασιαστεί η παραγωγή ενός αεριοστροβίλου απλού κύκλου, ωθώντας την ολική αποδοτικότητα του κύκλου ισχύος πάνω από το 50%.



Σχήμα 3.76. Κύκλος αεριοστροβίλου έγχυσης ατμού με ενσωματωμένη αεριοποίηση

3.8.4. Δυναμικό και επιπτώσεις της αγοράς βιο-ισχύος

3.8.4.1. Κατάσταση της αγοράς και το δυναμικό αυτής

Με εκτιμώμενο εγκατεστημένο δυναμικό παραγωγής 14.000 MW κατ' έτος, η βιομάζα αποτελεί τη μεγαλύτερη μη υδροηλεκτρική ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρισμού διεθνώς. Η βιομηχανία της βιομάζας διαφέρει από τις άλλες ανανεώσιμες στο ότι εμπλέκει τόσο τις γεωργικές και δασοκομικές κοινότητες όσο και τη βιομηχανία ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό δημιουργεί εντάσεις και παρανοήσεις, καθώς συχνά οι απόψεις γύρω από τα πλεονεκτήματα των μακροπρόθεσμων συμβολαίων καυσίμου και τις συμβατικές υποχρεώσεις που αυτά συνεπάγονται για τις εταιρείες προμήθειας του (συχνά πολύ μικρές) είναι πολύ διαφορετικές. Αυτή η κατάσταση έχει αναχθεί σε βασικό εμπόδιο στην ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών και γίνονται ακόμα προσπάθειες να βρεθούν μορφές συνεργασίας που να αντιμετωπίζουν αυτές τις διαφορές και να παρέχουν δίκαιες αποδόσεις και στις δύο πλευρές. Η πλειοψηφία των σχημάτων μετατροπής της βιομάζας σε ηλεκτρισμό αναπτύχθηκε στη χαρτοβιομηχανία και τη δασική βιομηχανία, όπου οι μεγάλες συμπράξεις και η ανάγκη διαχείρισης των αποβλήτων ήταν κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία. Πέρα από τους τομείς αυτούς, τα εν λόγω σχήματα έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία μόνο σε χώρες όπου υλοποιήθηκαν ειδικές πολιτικές, περιλαμβανομένων των φοροαπαλλαγών και των επιδοτήσεων.

Τα μη διασυνδεδεμένα πολυσυναρτησιακά συστήματα παρέχουν την πιο μεγάλη ευκαιρία διεθνούς εξάπλωσης για τη βιο-ισχύ. Βραχυπρόθεσμα, είναι πιο πιθανό να βρεθεί αγορά για τον ηλεκτρισμό από βιομάζα εκεί όπου:

τα υπολείμματα βιομάζας δημιουργούν πρόβλημα διάθεσης των αποβλήτων,

η διάθεση χαμηλού κόστους υπολειμμάτων βιομάζας συνδυάζεται με μια έντονη αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρισμό, ή

οι φιλο-περιβαλλοντικές πολιτικές και οι ανησυχίες γύρω από την κλιματική αλλαγή ενθαρρύνουν την εφαρμογή του.

Η κατάσταση σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες εμπίπτει στην πρώτη και δεύτερη περίπτωση. Αν και η βιομάζα εκεί χρησιμοποιείται περισσότερο στη μαγειρική και τη θέρμανση χώρων, ένα σημαντικό ποσό χρησιμοποιείται και στη βιομηχανία για την παραγωγή ατμού διεργασιών και ηλεκτρισμού. Οι εν λόγω χρήσεις αφορούν σχεδόν

αποκλειστικά τους τομείς της μεταποίησης γεωργικών προϊόντων και ξύλου. Μέχρι πρόσφατα, οι προτεραιότητες γι' αυτούς ήταν η απόρριψη των υπολειμμάτων και το μικρότερο δυνατό κόστος κεφαλαίου σε σχέση με την απαιτούμενη διαθεσιμότητα.

Η αποδοτικότητα (συνήθως κάτω από 20% και συχνά μονοψήφια) δεν υπήρξε ποτέ προτεραιότητα αφού σπάνια υπήρχε πελάτης για την περίσσεια του ηλεκτρισμού που θα προέκυπτε από τις βελτιώσεις. Όσο όμως οι αναπτυσσόμενες χώρες επεκτείνουν την ηλεκτρική τους υποδομή, οι μονάδες αγρο-επεξεργασίας αποτελούν μια καλή ευκαιρία για την ανάπτυξη πηγών ηλεκτρισμού χαμηλού κόστους με την εγκατάσταση πιο αποδοτικού εξοπλισμού παραγωγής. Για παράδειγμα, ένα τυπικό ζαχαρουργείο μπορεί να εξάγει μέχρι και 8 MWe υλοποιώντας απλές βελτιώσεις, ενώ η παραγωγή αυτή θα μπορούσε να διπλασιαστεί με την εγκατάσταση πιο εξελιγμένης τεχνολογίας.

Σύμφωνα με προβλέψεις, εάν εφαρμοστούν κατάλληλες πολιτικές και αναπτυχθεί και διαδοθεί η τεχνολογία, στο εγγύς μέλλον η βιομάζα θα αποδώσει σημαντικά ποσοστά ηλεκτρισμού σε πολλά κράτη. Ως παράδειγμα των κινήσεων σ' αυτήν την κατεύθυνση αναφέρεται η Βραζιλία, όπου τα προσεχή χρόνια αναμένονται μεγάλα ελλείμματα ισχύος σε τμήματα της χώρας λόγω της έλλειψης υδροηλεκτρικών έργων χαμηλού κόστους. Δεδομένου του μεγάλου πόρου βιομάζας και της βιομηχανίας ζάχαρης και αλκοόλ, είναι φυσικό οι αρχές της χώρας να στραφούν στον ηλεκτρισμό από βιομάζα.

Έτσι, πρόκειται να κατασκευαστεί ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής 30 MWe με αεριοποίηση που θα τροφοδοτηθεί αρχικά με τσιπς από μία φυτεία ευκαλύπτου. Εξάλλου, 150 οινοπνευματοποιίες ζαχαρότευτλων στο Sao Paulo με δυναμικό ισχύος περίπου 200 MW_e, που διαθέτουν παλιούς, μη αποδοτικούς ατμοστρόβιλους, έχουν συμφωνήσει να επενδύσουν στην τεχνολογία των αεριοστροβίλων, ώστε κατά τα επόμενα δεκαπέντε χρόνια να παράσχουν στις τρεις εταιρείες ηλεκτρισμού της πολιτείας ένα δυναμικό της τάξης των 3000 MW_e, από την ίδια ποσότητα τεύτλων.

Στις ΗΠΑ, που εμπίπτουν στην τρίτη κατηγορία αγοράς, το εγκατεστημένο δυναμικό από βιομάζα είναι περίπου 8000 MWe, όπου χρησιμοποιούνται κυρίως υπολείμματα βιομάζας με τις παραδοσιακές τεχνολογίες μετατροπής. Με το Εθνικό Πρόγραμμα Βιο-ισχύος προβλεπόταν να προστεθούν άλλα 6000 MW_e από βιομάζα μέχρι το τέλος του 2000, στα πλαίσια μιας συνεργατικής στρατηγικής όπου εμπλέκεται η βιομηχανία, η ερευνητική

κοινότητα, οι ρυθμιστικές αρχές, οι εν δυνάμει χρήστες, και οι πολιτειακές και ομοσπονδιακές υπηρεσίες. Σύμφωνα με πρόσφατες προβλέψεις, μέχρι το 2010 το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα θα έχει ανέλθει σε 26.000 MW_e περίπου στις ΗΠΑ και σε 50.000 MW_e παγκοσμίως.

Όσον αφορά την Ε.Ε., η παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα είναι σημαντική στις Σουηδία, Φιλανδία, Αυστρία και Δανία, κυρίως σε σχήματα ΣΗΘ στις βιομηχανίες χάρτου (έπεται η δασική βιομηχανία), και σε μεγάλα συστήματα τηλεθέρμανσης. Στις άλλες χώρες η βιομάζα χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή σε μικρότερη κλίμακα και συνήθως σε αγορές αιχμής ως συμπαραγωγή, ή ως τρόπος συμμόρφωσης με τις φιλοπεριβαλλοντικές πολιτικές. Καθώς η αεριοποίηση και οι άλλες προηγμένες διεργασίες βρίσκονται ακόμα σε εξελικτικό και επιδεικτικό στάδιο, η τεχνολογία που κυρίως χρησιμοποιείται είναι αυτή του συμβατικού κύκλου ατμού, ενώ εφαρμογές σύγκρασης με άνθρακα υπάρχουν στη Σουηδία.

Όσον αφορά τα απόβλητα, ο ρυθμός αξιοποίησης δεν εξαρτάται μόνο από το κόστος και τη διαθεσιμότητα των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας, αλλά και από τις εθνικές πολιτικές διαχείρισης των αποβλήτων. Για παράδειγμα, η υιοθέτηση της Κοινοτικής Οδηγίας για τις χωματερές στην Ε.Ε., βάσει της οποίας θα απαγορεύεται η ταφή των οργανικών υλικών χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, θα επιτάχυνε την εφαρμογή εγκαταστάσεων καύσης των ΑΣΑ. Εάν επιτευχθεί η επιδιωκόμενη εκτροπή του 25-30% των αποβλήτων προς καύση μέχρι το 2010, η δυνατή παραγωγή ισχύος στην Ε.Ε. υπολογίζεται να είναι της τάξης των 2000 έως 2400 MW_e.

Εκτός της Ε.Ε., οι βελτιώσεις στις πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων οδηγούν επίσης σε μια επέκταση της αγοράς και σε πιθανές ευκαιρίες εξαγωγών, κυρίως στη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία, όπου έχει αναπτυχθεί υποδομή για την επεξεργασία των αποβλήτων. Εκτιμάται ότι, μέχρι το 2010 η διεθνής αγορά θα ανέλθει σε περίπου 5500 MWe, δημιουργώντας 22.000 θέσεις εργασίας παγκοσμίως. Η διεθνής αγορά για τη χρήση του αέριου των χωματερών εκτιμάται ότι μέχρι το 2010 θα ισοδυναμεί με 4500 MWe. Μέχρι τώρα έχει αναπτυχθεί μόνο το 15% αυτής, με πάνω από το 50% αυτής στις ΗΠΑ και τον Καναδά.

3.8.4.2. Οικονομικές επιπτώσεις

Από τη βιομάζα μπορεί να ωφεληθεί η ενεργειακή ασφάλεια των κρατών καθώς, με τη διεύρυνση του φάσματος των πηγών τροφοδοσίας τους, οι χώρες οχυρώνονται, ενδυναμώνουν την οικονομία τους, και βελτιώνουν το εμπορικό τους ισοζύγιο. Ένα εξίσου βασικό όφελος είναι η ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας, αφού η βιομάζα είναι ογκώδης και η μεταφορά της ακριβή, οπότε οι εγκαταστάσεις μετατροπής της θα πρέπει να είναι κοντά στους τόπους διάθεσης της. Εξάλλου, οι αγρότες αναζητούν άλλες εμπορικές καλλιέργειες ή πηγές εσόδων ενώ, όσο αναπτύσσεται ο πληθυσμός πέρα από τις αστικές και προαστιακές περιοχές, τόσο μεγαλώνουν οι ανάγκες για ηλεκτροδότηση των αγροτικών περιοχών.

Η χρήση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών ως καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να βελτιώσει τα οικονομικά της γεωργίας μειώνοντας το κόστος απόρριψης και παρέχοντας εναλλακτικές πηγές εσόδων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες ανοίγουν μία εντελώς νέα αγορά για τη γεωργία, που έχει το δυναμικό να αποτελέσει μια σταθερή πηγή εισοδήματος στην αγροτική κοινωνία. Για παράδειγμα, σύμφωνα με εκτιμήσεις του ινστιτούτου EPRI, η παραγωγή 5 πεντάκις εκατ. Btu ηλεκτρισμού σε 20 εκατ. εκτάρια γης θα αύξανε το γεωργικό εισόδημα κατά \$12 δισεκατ. ετησίως (για σύγκριση, οι ΗΠΑ καταναλώνουν περίπου 90 πεντάκις εκατ. Btu ανά έτος).

Τέλος, δεν είναι πλέον επιθυμητή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών η κατασκευή μεγάλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής βάσης, ειδικά στις περισσότερο απομακρυσμένες περιοχές. Οι μικρές εγκαταστάσεις βιο-ισχύος έχουν μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μπορούν να λειτουργούν με τις τοπικά παραγόμενες πρώτες ύλες. Συμπερασματικά, η χρήση της βιομάζας επιφέρει τριπλό όφελος στον αγροτικό πληθυσμό, αφού διατηρεί τον πλούτο κοντά, αμείβει τους αγρότες για την παραγωγή των καυσίμων βιομάζας και παρέχει καθαρή ενέργεια.

3.8.4.3. Εμπόδια για την περαιτέρω διεξόδωση

Το κύριο εμπόδιο στην ευρεία αποδοχή του ηλεκτρισμού από βιομάζα είναι το κόστος απόδοσης του, που μπορεί να είναι μέχρι και τριπλάσιο του κόστους του ηλεκτρισμού που

παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Καίτοι οι υφιστάμενοι φόροι και επιχορηγήσεις μπορούν να καταστήσουν εφικτή την εφαρμογή, θα πρέπει να διατηρηθούν σε παραδεκτά επίπεδα και τελικά να αποσυρθούν. Επομένως, η αντιμετώπιση των τριών στοιχείων που διαμορφώνουν το μοναδιαίο κόστος του ηλεκτρισμού, δηλαδή το κεφάλαιο, το καύσιμο και η λειτουργία, είναι άμεσης προτεραιότητας.

Οι σύγχρονες τεχνολογίες μετατροπής (δηλ. αεριοποίηση και πυρόλυση) παρέχουν μεγάλες αποδοτικότητες ηλεκτροπαραγωγής. Πάντως, αυτές δεν έχουν δοκιμαστεί εμπορικά και αντιμετωπίζουν πολλά εμπόδια πριν καταστούν πλήρως αποδεκτές και ενσωματωθούν στις παραδοσιακές ενεργειακές αγορές, π.χ. προβλήματα: τεχνολογικά και λειτουργίας και συντήρησης (Λ&Σ), χρηματοδότησης και σχετικών δαπανών, τροφοδοσίας καυσίμων και προμηθειών, αποδοχής από την αγορά και καθιέρωσης.

Έτσι, παρότι σήμερα υπάρχουν επιδεικτικές εφαρμογές σύγκausης και αεριοποίησης σε αρκετές εταιρείες ηλεκτρισμού, τα εναπομείναντα τεχνολογικά εμπόδια αφορούν:

Την εμπορευσιμότητα της τέφρας - Από διάφορα εθνικά και διεθνή πρότυπα δεν επιτρέπεται η παρουσία οργανικών υλών στην τέφρα που χρησιμοποιείται για επίστρωση. Από δοκιμές έχει προκύψει ότι η τέφρα της σύγκausης δεν επηρεάζει τις ιδιότητες αντοχής, και γίνονται προσπάθειες για την αλλαγή των προτύπων.

Τη διάβρωση - Το υψηλό περιεχόμενο σε χλώριο μερικών ποωδών καλλιεργειών έχει προκαλέσει διάβρωση στους εναλλάκτες θερμότητας. Η απελευθέρωση των ενώσεων χλωρίου μπορεί να εμποδιστεί με πρόσθετα θείου. Οι προκύπτουσες εκπομπές πάντως μπορεί να αναιρέσουν τις θετικές επιπτώσεις της βιομάζας.

Τις εκπομπές NO_x - Γενικά, με τη σύγκausη βιομάζας προκύπτουν χαμηλότερες εκπομπές NO_x από αυτές του άνθρακα. Πάντως, για ορισμένες καλλιέργειες έχει παρατηρηθεί ότι τα επίπεδα NO_x αυξάνουν. Ένα στάδιο μετάκαυσης με βιοαέριο ή φυσικό αέριο συνιστάται για τη μείωση των εκπομπών NO_x .

Στη χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή μεγάλη σημασία έχουν τα οικονομικά εμπόδια. Ένα μέρος του κόστους συνδέεται με τον κίνδυνο, πραγματικό ή υποθετικό, της αδοκίμαστης τροφοδοσίας με καύσιμο (π.χ. μικρού κύκλου θάμνοι) ή τεχνολογίας μετατροπής (αεριοποίηση, πυρόλυση, σύγκausη). Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με την εμπλοκή των μεγάλων, οικονομικά σταθερών εταιρειών ηλεκτρισμού, οι οποίες πάντως εστιάζουν στα τελικά κέρδη και είναι επιφυλακτικές με τις τεχνολογίες αβέβαιης βιωσιμότητας. Τα κρατικά κίνητρα είναι σημαντικά στον τομέα αυτό.

Η προμήθεια του καυσίμου έχει αναχθεί σε ένα από τα πιο περίπλοκα θέματα της εγκατάστασης υπηρεσιών βιο-ισχύος. Τα καύσιμα αυτά στην καλύτερη περίπτωση είναι καθαρά υποπροϊόντα ξύλου από εγκαταστάσεις αρχικής επεξεργασίας δασικών προϊόντων, όπως είναι τα πριονιστήρια ή οι μονάδες χάρτου και πολτού. Πάντως, όταν η κατάλληλη μονάδα δεν βρίσκεται εντός μιας εφικτής ακτίνας μεταφοράς (π.χ. κάτω από 80 km), πρέπει να βρεθούν αξιόπιστες εναλλακτικές πηγές. Ένα σημαντικό θέμα είναι η ποιότητα και η ποσότητα των υλικών που παραδίδονται στη μονάδα, οι οποίες πρέπει να είναι σταθερές και αξιόπιστες για την αποδοτική λειτουργία της.

Η αποδοχή από την αγορά και η καθιέρωση είναι το βασικότερο εμπόδιο στη χρήση της βιο-ισχύος, συμπεριλαμβανομένων πολλών σχετιζόμενων με την απελευθέρωση της αγοράς και την παγκόσμια θέρμανση κινητήριων δυνάμεων και εμποδίων. Οι κινητήριες δυνάμεις της αγοράς ειδικότερα περιλαμβάνουν:

τα Πρότυπα Χαρτοφυλάκια για τις Ανανεώσιμες Πηγές και άλλες πρωτοβουλίες,
τις πιθανές εμπορικές πιστώσεις για τον άνθρακα,
τη σύγκausη ως το φθηνότερο μέσο για την επίτευξη περιστολών του άνθρακα,
τη δημόσια απαίτηση για οικολογική ενέργεια,
πιθανά κρατικά κίνητρα,
την ανάπτυξη των γεωργικών και αγροτικών οικονομιών.

3.9. Συμπαγωγή

3.9.1. Η έννοια της συμπαγωγής

Τα συστήματα Συνδυασμένης παραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ -γνωστή και ως Συμπαγωγή) 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. Η θερμική ενέργεια που ανακτάται σε ένα σύστημα ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ή ψύξη στη βιομηχανία ή τα κτίρια. 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 (βλ. σχήμα 3.78).



Σχήμα 3.77. Συμβατικό ενεργειακό σύστημα σε σύγκριση με σύστημα συμπαραγωγής

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 στροβίλων, κυψελών καυσίμου και παλινδρομικών μηχανών συνιστούν το αποτέλεσμα εντατικής και συνδυασμένης έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης, τόσο από ινστιτούτα όσο και από τη βιομηχανία. Τα προηγμένα υλικά και οι τεχνικές σχεδίασης μέσω Η/Υ έχουν αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του εξοπλισμού, μειώνοντας ταυτόχρονα τα κόστη και τις εκπομπές ρύπων.

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. Η σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας με τη ΣΗΘ οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. 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 συνολική απόδοση του 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 ανακτώμενης ενέργειας, τόσο μειώνεται ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς τη θερμότητα. 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.

Πίνακας 3.12. Γενική εικόνα των συστημάτων ΣΗΘ

[Πηγή: Onsite Sycom (1999)]

	Μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας	Ολοκληρωμένες μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας
--	------------------------------------	--

	Μονάδα ηλεκτρισμού και θερμότητας με ατμοστρόβιλο	Μονάδα συνδυασμένου κύκλου με αεριοστρόβιλο	Ολοκληρωμένη θερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με αεριοστρόβιλο	Ολοκληρωμένη θερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με βιομηχανικό κινητήρα	Μικρής κλίμακας ΣΗΘ με κινητήρα αυτοκινήτου
Σύστημα κίνησης	Ατμοστρόβιλος	Συνδυασμός ατμοστρόβιλων και αεριοστρόβιλων	Αεριοστρόβιλος	Βιομηχανικός κινητήρας Otto με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα,	
Καύσιμο	Κάρβουνο μαζούτ (καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη), φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης (συμβατική ατμοπαραγωγή)	Φυσικό αέριο / υγραέριο, κηροζίνη, αεριοποιημένος άνθρακας (στο μέλλον)		Φυσικό αέριο / υγραέριο, βιοαέριο (επεξεργασίας λυμάτων, αγροτικής παραγωγής, αερίου ΧΥΤΑ), κηροζίνη / βιοκαύσιμα	
Επίπεδο θερμοκρασίας	Μέχρι 500 °C	Μέχρι 300 °C	Μέχρι 550 °C	Μέχρι 100 °C	Μέχρι 100 °C
Κύριο πεδίο εφαρμογής (παραδείγματα)	Τηλεθέρμανση	Τηλεθέρμανση	Θερμότητα διεργασιών για τη βιομηχανία και τα νοσοκομεία (ατμός και ζεστό νερό)	Τοπικά δίκτυα θέρμανσης, μεμονωμένα κτίρια (νοσοκομεία μεγάλα δημόσια κτίρια)	Ανεξάρτητα συγκροτήματα κατοικιών, μεμονωμένα κτίρια (σχολεία ξενοδοχεία, εμπορικές επιχειρήσεις)
Εύρος δυναμικότητας	5 – 1000 MW _e	20 – 100 MW _e	1 – 10 MW _e	20 – 1000 kW _e	5 – 15 kW _e
Δείκτης	0.30 – 0.60	0.80 – 1.20	0.40 – 0.60	0.55 – 0.65	0.35 – 0.45

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	0.25 – 0.35 ³⁾ 0.30 – 0.40 ⁴⁾	0.40 - 0.50	0.20 – 0.35	0.30 – 0.40	0.25 – 0.30
Συνολική απόδοση	0.45 ⁵⁾ – 0.85	0.55 ⁵⁾ – 0.85	0.75 – 0.85	0.85 – 0.90	0.85 – 0.90
Πλεονεκτήματα	Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας σε μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	Μικρό κόστος επένδυσης, μεγάλος συντελεστής συμπαραγωγής	Θερμότητα διεργασιών υψηλής θερμοκρασίας	Μικρές διαστάσεις, ολοκληρωμένη κατασκευή, υψηλός συνολικός βαθμός απόδοσης	
<p>1) Δείκτης συμπαραγωγής = ηλεκτρική/θερμική ενέργεια⁵⁾ Υπόθεση: Μόνο μία πολύ μικρή ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας ανακτάται (οι μεγάλοι θερμικοί</p> <p>2) SCR: εξουδετέρωση των NO_x με ουρία</p>					

3.9.2. Βασικές αρχές της συμπαραγωγής

3.9.2.1. Θερμικές μηχανές

Μπορούν να διακριθούν οι ακόλουθες βασικές επιλογές για τη συμπαραγωγή (δεν γίνεται εδώ αναφορά σε μερικές νεώτερες τεχνολογίες):

Συμπαραγωγή με ατμοστρόβιλο: Χρησιμοποιείται άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, ξύλα, απόβλητα, τύρφη και πυρηνικά καύσιμα. Ο ατμός είναι το μέσο με το οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.

Συμπαραγωγή με αεριοστρόβιλο: Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι τα μόνα κατάλληλα καύσιμα. Το μέσο μεταφοράς της θερμότητας είναι τα καυσαέρια του θαλάμου καύσης.

Συμπαραγωγή με συνδυασμένο κύκλο: Η υψηλή θερμότητα και περιεκτικότητα σε οξυγόνο των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιούνται σε μια δεύτερη διεργασία με έναν ατμοστρόβιλο.

Συμπαραγωγή με παλινδρομική μηχανή: Η χημικά δεσμευμένη ενέργεια του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου diesel, για παράδειγμα, μετασχηματίζεται άμεσα με την καύση σε μηχανική ενέργεια.

Όλες οι ανωτέρω τεχνολογίες είναι σε θέση να παράγουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια, και χαρακτηρίζονται ως "θερμικές μηχανές". Πιο συγκεκριμένα, η θερμική μηχανή ορίζεται ως: "μία συσκευή που μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια" ή, πιο σωστά, ως "ένα σύστημα που λειτουργεί συνεχώς και μόνο θερμότητα και έργο μπορούν να περάσουν τα όριά του". Επιπλέον, η λειτουργία μιας θερμικής μηχανής μπορεί να παρασταθεί καλύτερα από ένα θερμοδυναμικό κύκλο. Μερικά παραδείγματα είναι οι κύκλοι Otto, Diesel, Brayton, Stirling και Rankine.

3.9.2.2. Μηχανές εσωτερικής καύσης

Μεταξύ των πιο ευρέως διαδεδομένων και περισσότερων αποδοτικών κύριων πηγών ενέργειας για ΣΗΘ είναι οι παλινδρομικές μηχανές ή μηχανές εσωτερικής καύσης -ΜΕΚ. Διάφοροι τύποι αυτών των μηχανών είναι εμπορικά διαθέσιμοι, αλλά δύο από αυτούς έχουν περισσότερη σημασία σε στατικές εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής, πιο συγκεκριμένα οι τετράχρονοι μηχανές με σπινθηριστή (κύκλος Otto) και οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση (κύκλος Diesel). Τα κύρια μηχανικά μέρη των μηχανών κύκλου Otto και Diesel είναι τα ίδια. Και οι δύο χρησιμοποιούν ένα κυλινδρικό θάλαμο καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα κατάλληλα εφαρμοσμένο έμβολο.

Το έμβολο συνδέεται σε έναν στροφαλοφόρο άξονα που μετασχηματίζει τη γραμμική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Οι περισσότερες μηχανές διαθέτουν πολλαπλούς κυλίνδρους που κινούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Τόσο οι μηχανές κύκλου Otto όσο και οι τετράχρονοι μηχανές Diesel ολοκληρώνουν έναν κύκλο λειτουργίας σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο. Οι κινήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

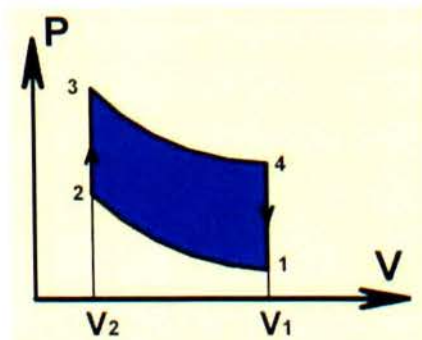
- εισαγωγή του αέρα (ή του μίγματος αέρα-καυσίμου) στον κύλινδρο,
- συμπίεση με καύση του καυσίμου,
- επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης (κίνηση ισχύος), και
- αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των κύκλων Otto και Diesel είναι η μέθοδος της καύσης του καυσίμου. Στον κύκλο Otto χρησιμοποιείται ένας σπινθηριστής για την ανάφλεξη ενός έτοιμου μίγματος αέρα καυσίμου που εισάγεται στον κύλινδρο. Από την άλλη, μια μηχανή Diesel συμπιέζει τον αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο σε υψηλή πίεση, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του στα επίπεδα της θερμοκρασίας ανάφλεξης του καυσίμου που εγχέεται υπό υψηλή πίεση.

Κύκλος Otto

Διάφορες μηχανές μπορούν να προσομοιωθούν από τον κύκλο Otto (σχήμα 3.79), όπως είναι οι μηχανές βενζίνης και οι μηχανές αερίου. Ο κύκλος Otto είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερό όγκο.
- έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.



Σχήμα 3.79. Διάγραμμα P-V ενός κύκλου Otto

- έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο. Ο θερμοκός βαθμός απόδοσης ενός κύκλου Otto με ένα τέλειο αέριο ως ενεργειακό ρευστό είναι:

$$\eta = 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2)$$

ενώ αποδεικνύεται ότι η ανωτέρω σχέση μπορεί να αναχθεί στην ακόλουθη:

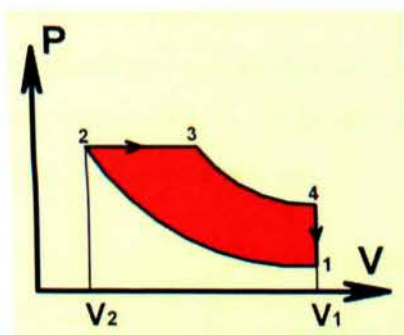
$$\eta = 1 - r^{-\gamma} \tag{3.16}$$

όπου $r (=V_1/V_2)$ είναι ο λόγος συμπίεσης, και $n (=1-\gamma)$ μια σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα.

Κύκλος Diesel

Ο κύκλος Diesel (σχήμα 3.80) είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται επίσης από τέσσερα στάδια:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο.



Σχήμα 3.80. Διάγραμμα P-V ενός κύκλου Diesel

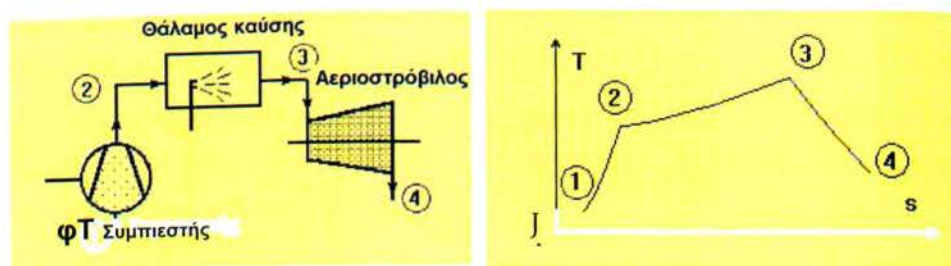
Ορίζοντας τον λόγο συμπίεσης r ως: $r = V_1/V_2$ και το λόγο αποκοπής β ως: $\beta = v_3/v_2$, ο θερμικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Diesel με τέλειο αέριο ως ρευστό λειτουργίας είναι:

$$\eta = -[r(\beta^n - 1)] / [(\beta - 1)\gamma r^n] \quad (3.17)$$

όπου $n (= \gamma)$ είναι μία σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα.

3.9.2.3. Αεριοστροβίλοι

Οι αεριοστροβίλοι χρησιμοποιούν τα θερμά αέρια που παράγονται άμεσα από την καύση ορυκτών καυσίμων. Το θερμό αέριο εκτονώνεται μέσα από τα πτερύγια του δρομέα του στροβίλου αναγκάζοντας τα να κινηθούν. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διεργασία του αεριοστροβίλου. Η διεργασία 3-4, που παρουσιάζεται στο διάγραμμα T-s (σχήμα 3.81) του αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου του σχήματος (αριστερά), αντιστοιχεί σε μια μη αναστρέψιμη αλλά σχεδόν αδιαβατική εκτόνωση των αερίων της καύσης.



Σχήμα 3.81. Σχηματική αναπαράσταση ενός αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου (αριστερά) και το αντίστοιχο διάγραμμα T-s (δεξιά)

Το παραγόμενο έργο από το στρόβιλο είναι:

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m} (h_3 - h_4)$$

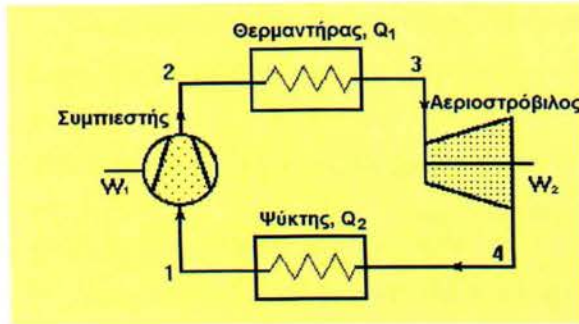
Όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας των καυσαερίων, h_3 είναι η ενθαλπία των καυσαερίων στην είσοδο και h_4 η ενθαλπία τους στην έξοδο. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου είναι:

$$\eta = (h_3 - h_4) / (h_3 - h_{4s}) \quad (3.18)$$

Ο κύκλος Brayton (ή Joule)

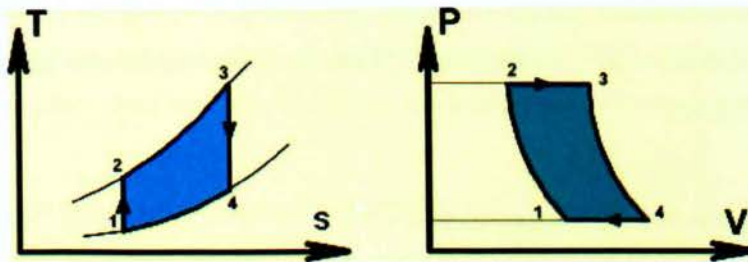
Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεριοστροβιλικών συστημάτων είναι ο κύκλος Brayton, στον οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας, που είναι το εργαζόμενο μέσο, διέρχεται από τον στρόβιλο μόνο μία φορά. Οι θερμοδυναμικές διεργασίες του κύκλου Brayton περιλαμβάνουν τη συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα, την εισαγωγή και ανάφλεξη του καυσίμου, και την εκτόνωση των θερμών καυσαερίων μέσω του στρόβιλου. Η αναπτυσσόμενη ισχύς χρησιμοποιείται για την κίνηση του συμπιεστή και της ηλεκτρογεννήτριας. Οι κύριες συνιστώσες ενός αεριοστρόβιλου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 3.82.

Τόσο η εισαγωγή όσο και η απόρριψη της θερμότητας στον κύκλο Brayton γίνεται υπό σταθερή πίεση, και για το λόγο αυτό ο κύκλος είναι επίσης γνωστός ως κύκλος σταθερής πίεσης. Ο κύκλος, του οποίου τα διαγράμματα T-s και P-V παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα 3.83, αποτελείται από τέσσερις διεργασίες:



Σχήμα 3.82. Μια μονάδα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- έως 3: Θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- έως 1: Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση.



Σχήμα 3.83. Διαγράμματα T-s και P-V του κύκλου Brayton

Το εισαγόμενο έργο στον κύκλο (συμπιεστής) \dot{Q}_1 και το παραγόμενο έργο από τον κύκλο (στρόβιλος) \dot{Q}_2 είναι:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad \text{και} \quad \dot{Q}_2 = \dot{m} (h_3 - h_4)$$

όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας στον κύκλο. Η παρεχόμενη θερμότητα στον κύκλο Q_1 (θερμαντήρας) και η απορριπτόμενη θερμότητα Q_2 από τον κύκλο (ψυκτική μονάδα) είναι, αντίστοιχα:

$$Q_1 = \dot{m} (h_3 - h_2) \quad \text{και} \quad Q_2 = \dot{m} (h_4 - h_1)$$

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης του κύκλου με ενεργειακό μέσο ένα τέλειο αέριο είναι:

$$\eta = 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2)$$

Αποδεικνύεται ότι η παραπάνω σχέση μπορεί να αναχθεί στην εξής:

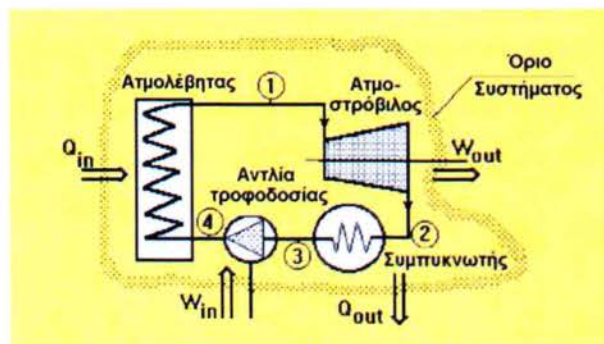
$$\eta = 1 - \Gamma^{-n} \quad (3.19)$$

όπου $\Gamma (=P_2/P_1)$ είναι ο λόγος πίεσης και $n (= -1 + 1/\gamma)$ μία σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα.

3.9.2.4. Ατμοστρόβιλοι

Ο ατμοστρόβιλος εξαρτάται από κάποια χωριστή πηγή ενέργειας και δεν μετατρέπει άμεσα το καύσιμο σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ατμοστρόβιλοι απαιτούν μία πηγή ατμού υψηλής πίεσης που παράγεται σε κάποιο λέβητα ή ατμοπαραγωγό ανάκτησης θερμότητας. Στα καύσιμα των λεβήτων συμπεριλαμβάνονται ορυκτά καύσιμα, όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ή ανανεώσιμα καύσιμα, όπως το ξύλο ή τα αστικά απορρίμματα. Ο ατμοστρόβιλος μπορεί να αποτελείται από πολλές βαθμίδες, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να οριστεί με την ανάλυση της εκτόνωσης του ατμού από μία υψηλότερη σε μία χαμηλότερη πίεση.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος του ατμοστρόβιλου είναι ο κύκλος Rankine, παρόλο που εφαρμόζονται και κάποιοι άλλοι, όπως οι κύκλοι αναθέρμανσης και αναγέννησης, και ο συνδυασμένος κύκλος. Ο κύκλος Rankine είναι ο βασικός κύκλος των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και συνίσταται κατ' αρχήν από μια πηγή θερμότητας (λέβητας) που μετατρέπει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός ρέει μέσα από το στρόβιλο και παράγει μηχανική ισχύ, και μπορεί να είναι υγρός, ξηρός κορεσμένος ή υπέρθερμος. Όταν εξέρχεται από τον στρόβιλο συμπυκνώνεται και επιστέφει στο λέβητα για να επαναληφθεί η διαδικασία, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.84. Τα στάδια ενός ολοκληρωμένου συστήματος ατμοστρόβιλου

Σύμφωνα με το διάγραμμα του παραπάνω κύκλου, η ωφέλιμη ισχύς του στροβίλου σε κατάσταση σταθερής ροής είναι:

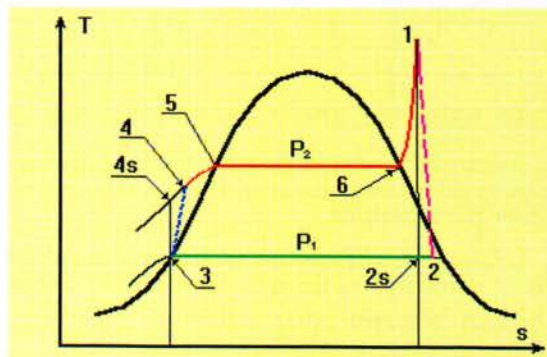
$$P = \dot{m} (h_1 - h_2)$$

όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας του ατμού μέσα από τον στρόβιλο, ενώ h_1 και h_2 είναι η ειδική ενθαλπία του ατμού στην είσοδο και την έξοδο του στροβίλου αντίστοιχα. Η αποδοτικότητα των ατμοστροβίλων συχνά περιγράφεται από τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης της διαδικασίας εκτόνωσης. Η παρουσία σταγονιδίων στον ατμό μειώνει την απόδοση του στροβίλου και προκαλεί τη φυσική διάβρωση των πτερυγίων. Για το λόγο αυτό, ο λόγος ξηρότητας του ατμού στην έξοδο του στροβίλου δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 0,9.

Ο κύκλος Rankine

Ο κύκλος Rankine αντιστοιχεί σε μια θερμική μηχανή με κύκλο ισχύος ατμού. Το πιο κοινό εργαζόμενο μέσο είναι το νερό. Ο κύκλος συνίσταται από τέσσερις διεργασίες (βλ. σχήμα 3.85):

- 1 έως 2: Ισεντροπική εκτόνωση (ατμοστρόβιλος).
- 2 έως 3: Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση (συμπυκνωτής).
- 3 έως 4: Ισεντροπική συμπίεση (αντλία).
- 4 έως 1: Θέρμανση υπό σταθερή πίεση (λέβητας).



Σχήμα 3.85. Διάγραμμα T-s του κύκλου Rankine

Το παραγόμενο έργο του κύκλου (ατμοστρόβιλος) \square_1 και το εισαγόμενο έργο στον κύκλο (αντλία) \square_2 είναι αντίστοιχα:

$$\square_1 = \square (h_1 - h_2) \quad \text{και} \quad \square_2 = \square (h_4 - h_3)$$

με \square την παροχή μάζας του κύκλου. Η παρεχόμενη θερμότητα στον κύκλο (από το λέβητα) Q_1 και η απορριπτόμενη θερμότητα από τον κύκλο (στο συμπυκνωτή) Q_2 είναι αντίστοιχα:

$$Q_1 = \square (h_1 - h_4) \quad \text{και} \quad Q_2 = \square (h_2 - h_3)$$

Το ωφέλιμο έργο του κύκλου είναι: $\square = \square_1 - \square_2$, και ο θερμικός βαθμός απόδοσης ενός κύκλου Rankine ορίζεται τότε ως:

$$\eta = \square / Q_1 \quad (3.20)$$

Ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine δεν είναι τόσο υψηλός όπως αυτός του κύκλου Carnot, αλλά ο κύκλος αυτός παρουσιάζει λιγότερες πρακτικές δυσκολίες και είναι πιο οικονομικός.

3.9.2.5. Αρχές της καύσης

Είδη των καυσίμων

Τα χρησιμοποιούμενα στους λέβητες καύσιμα αποτελούνται από υδρογονάνθρακες που περιλαμβάνουν αλκίνια (C_nH_{2n-2}), π.χ. το ακετυλένιο ($n=2$), αλκένια (C_nH_{2n}), π.χ. το αιθυλένιο ($n=2$), αλκάνια (C_nH_{2n+2}), π.χ. το οκτάνιο ($n=8$). Μια τυπική αντίδραση καύσης περιλαμβάνει ένα άτομο άνθρακα με δύο άτομα οξυγόνου και παραγωγή θερμότητας, σύμφωνα με την ακόλουθη βασική αντίδραση:



Η παραγόμενη θερμότητα κατά την αντίδραση καύσης είναι γνωστή ως θερμαντική ικανότητα ή θερμογόνος δύναμη ($\theta\Delta$) του καυσίμου, και εκφράζεται σε μονάδες θερμότητας ανά μονάδα βάρους ή όγκου του καυσίμου.

Για να καθοριστεί η βασική σύσταση ενός καυσίμου συνήθως χρησιμοποιούνται δύο αναλύσεις. Η πρώτη ονομάζεται προσεγγιστική ανάλυση και προσδιορίζει την επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητα του καυσίμου σε υγρασία, πτητικά συστατικά, μόνιμο άνθρακα, τέφρα και θείο. Η δεύτερη ανάλυση είναι γνωστή ως στοιχειακή ανάλυση και καθορίζει την

επί τις εκατό κατά βάρος σύσταση του καυσίμου σε άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο, και οξυγόνο. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου αυξάνει με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα.

Οι πίνακες 3.13 και 3.14 παρέχουν αντίστοιχα τα αποτελέσματα της ποσοτικής και στοιχειακής ανάλυσης του άνθρακα που εξάγεται από δύο περιοχές των ΗΠΑ. Στον πίνακα 3.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης ενός άλλου στερεού καυσίμου, του ξύλου. Όπως είναι εμφανές, το πεύκο έχει μεγαλύτερη κατά βάρος περιεκτικότητα σε άνθρακα, συνεπώς και μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη.

Πίνακας 3.13. Αποτελέσματα της ποσοτικής ανάλυσης του άνθρακα που εξάγεται από δύο περιοχές των ΗΠΑ

<i>Τύπος Γαιάνθρακα</i>	<i>Υγρασία</i>	<i>Πτητικά Συστατικά</i>	<i>Μόνιμος Άνθρακας</i>	<i>Τέφρα</i>	<i>Θείο</i>
Lackawana, PA	2.0	6.3	79.7	12	0.6
Weld, CO	24.0	30.2	40.8	5	0.3

Πίνακας 3.14. Αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης του άνθρακα που εξάγεται από δύο περιοχές των ΗΠΑ

<i>Τύπος Γαιάνθρακα</i>	<i>Άνθρακας</i>	<i>Υδρογόνο</i>	<i>Οξυγόνο</i>	<i>Άζωτο</i>	<i>Θερμογόνος δύναμη</i>
Lackawana, PA	93.5	2.6	2.3	0.9	13000
Weld, CO	75.0	5.1	17.9	1.5	9200

Πίνακας 3.15. Αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης επιλεγμένων τύπων ξύλου

<i>Τύπος Ξύλου</i>	<i>Άνθρακας</i>	<i>Υδρογόνο</i>	<i>Οξυγόνο</i>	<i>Άζωτο</i>	<i>Θερμογόνος δύναμη</i>
Δρυς	49.5	6.6	43.7	0.2	7980
Πεύκο	59.0	7.2	32.7	1.1	10400

Φλαμουριά	49.7	6.9	43.0	0.3	8200
-----------	------	-----	------	-----	------

Τα υγρά καύσιμα ή καύσιμα απόσταξης ταξινομούνται σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Για τα πετρελαϊκά καύσιμα υπάρχουν 6 διαφορετικοί βαθμοί, ανάλογα με το ιξώδες τους. Ο πίνακας 3.16 παρέχει τις τιμές της θερμογόνου δύναμης και τις πιο κοινές χρήσεις 5 τύπων πετρελαίου που διατίθενται στις ΗΠΑ. Το πετρελαϊκό καύσιμο Ν^ο 3 έχει τελευταία ενσωματωθεί ως τμήμα του πετρελαϊκού καυσίμου Ν^ο 2.

Πίνακας 3.16. Θερμογόνος δύναμη και ειδικό βάρος των πετρελαίων καύσεως που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ

<i>Κατηγορία πετρελαίου</i>	<i>Ειδικό Βάρος</i>	<i>Θερμογόνος Δύναμη KWh/litre (MBtu/gal)</i>	<i>Εφαρμογές</i>
N ^ο 1	0.805	9.7 (134)	Για εξάτμιση σε καυστήρες τύπου δοχείου
N ^ο 2	0.850	10.4 (139)	Για γενικής χρήσης οικιακή θέρμανση
N ^ο 3	0.903	10.9 (145)	Για καυστήρες χωρίς προθέρμανση
N ^ο 5	0.933	11.1 (148)	Χρειάζεται προθέρμανση στους 75-95°C
N ^ο 6	0.965	11.3 (151)	Χρειάζεται προθέρμανση στους 95-115°C

Παρόμοια κατάταξη εφαρμόζεται και για τα καύσιμα diesel, με το diesel Ν^ο 1 να χρησιμοποιείται σε πολύστροφες μηχανές, και το Ν^ο 2 να χρησιμοποιείται στις βιομηχανικές εφαρμογές και τα βαριά οχήματα. Το υγραέριο (LPG) είναι ένα μίγμα προπανίου και βουτανίου, ενώ το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα μεθανίου και αιθανίου.

Τιμές της θερμογόνου δύναμης των καυσίμων

Η θερμογόνος δύναμη συνήθως παρέχεται για ξηρό καύσιμο. Στην πράξη η υγρασία μειώνει τη θερμογόνο δύναμη των καυσίμων σύμφωνα με την ακόλουθη απλουστευμένη εξίσωση:

$$HV = HV_{dry} (1 - M) \quad (3.22)$$

όπου M είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου. Επιπλέον, η θερμογόνος δύναμη των καυσίμων μειώνεται με το υψόμετρο. Αναφέρεται ότι, εμπειρικά, η θερμογόνος δύναμη μειώνεται κατά 4% για κάθε αύξηση του υψόμετρου κατά 300m. Επιπλέον, η θερμογόνος δύναμη επηρεάζεται από τη φάση του νερού / ατμού στα προϊόντα της καύσης.

Εάν το H_2O είναι σε υγρή μορφή, η θερμογόνος δύναμη ονομάζεται Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη ($A\Theta\Delta$) ή Μικτή Θερμογόνος Δύναμη ($M\Theta\Delta$). Όταν το H_2O είναι με μορφή ατμού, η θερμογόνος δύναμη καλείται Κατώτερη ή Καθαρή Θερμογόνος Δύναμη ($K\Theta\Delta$). Η $A\Theta\Delta$ προσδιορίζεται εργαστηριακά με χρήση του θερμιδομετρητή, που μετρά τη θερμότητα που αφαιρείται κατά την ψύξη μέχρι μία τυπική θερμοκρασία αναφοράς των προϊόντων της καύσης. Κατά συνέπεια, περιλαμβάνει τη λανθάνουσα θερμότητα που ανακτάται κατά τη συμπύκνωση του τμήματος του υδρατμού. Αυτός ο υδρατμός σχηματίζεται ως αποτέλεσμα της καύσης κάθε μορίου υδρογόνου που περιέχεται στο καύσιμο και από την εξάτμιση κάθε περιεχόμενης υγρασίας.

Η $K\Theta\Delta$ προσδιορίζεται υπολογιστικά, και είναι ίση με την $M\Theta\Delta$ μείον τη λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που σχηματίζεται από την καύση του υδρογόνου και από οποιαδήποτε ποσότητα υγρασίας που είναι παρούσα στα καύσιμα. Η $K\Theta\Delta$ είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική της διαθέσιμης στην πράξη θερμότητας, όταν τα καύσιμα καίγονται σε συσκευές όπως οι φούρνοι και οι λέβητες. Η λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που περιλαμβάνεται στα καυσαέρια κανονικά δεν είναι ανακτήσιμη, εκτός από τις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας που περιλαμβάνει συμπύκνωση των υδρατμών.

Η προμήθεια των καυσίμων συνήθως γίνεται βάσει της $M\Theta\Delta$ τους και η κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης εκφράζεται πάντοτε ως προς την $M\Theta\Delta$, συνεπώς είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η $M\Theta\Delta$ στις ενεργειακές αναλύσεις εφικτότητας της ΣΗΘ.

Οποιοδήποτε προκύπτει ενεργειακό ισοζύγιο θα ποικίλει ανάλογα με τη $\Theta\Delta$ που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, και αυτό, στη συνέχεια, θα έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές τιμές του θερμικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης και του εξοπλισμού καύσης. Επομένως, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή σε οποιαδήποτε ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων απόδοσης. Στον πίνακα 3.16 παρατίθενται χαρακτηριστικές ιδιότητες κάποιων επιλεγμένων καυσίμων.

Πίνακας 3.16. Χαρακτηριστικές ιδιότητες επιλεγμένων καυσίμων

Καύσιμο	$\Theta\Delta$ όπως δίνεται συνήθως		Ρύποι %		
	Μικτή	Καθαρή	Θείο	Νερό	Τέφρα
Άνθρακας	30.6 MJ/kg	29.7 MJ/kg	1.2	10.0	8.0
Υπολείμματα ξύλου	15.8 MJ/kg	14.4 MJ/kg	0.4	15	Ίχνος
Μαζούτ	41.2 MJ/litre	38.9 MJ/litre	2.0	0.3	0.04
Βενζίνη	38.3 MJ/litre	36.0 MJ/litre	0.15	0.05	0.01
Φυσικό αέριο	38.0 MJ/m ³	34.2 MJ/m ³	-	Ίχνος	-
Βιοαέριο	20.0 MJ/m ³	18.0 MJ/m ³	Ίχνος	Ίχνος	-
Αέρια ορυχείων	21.0 MJ/m ³	18.9 MJ/m ³	Ίχνος	5.0	-

3.9.2.6. Δείκτες αποδοτικότητας των συστημάτων συμπαραγωγής

Πριν από την περιγραφή των τεχνολογιών της συμπαραγωγής, και μετά από τη συνοπτική παρουσίαση των θερμικών μηχανών και των αρχών της καύσης που έγινε στα προηγούμενα, είναι απαραίτητο να καθοριστούν συγκεκριμένοι δείκτες που να προσδιορίζουν τη θερμοδυναμική απόδοση ενός συστήματος συμπαραγωγής και να διευκολύνουν τη σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών (συστημάτων). Πολυάριθμοι τέτοιοι δείκτες έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία, και οι σημαντικότεροι από αυτούς ορίζονται στα επόμενα.

Ο βαθμός απόδοσης του κύριου κινητήρα (π.χ. του αεριοστροβίλου, της μηχανής Diesel ή Otto, του ατμοστροβίλου, κλπ.) ορίζεται ως:

$$H_m = W_s/H_f = W_s/(m_f H_u)$$

όπου W_s είναι η ισχύς στον άξονα της κύριας πηγής ενέργειας, H_m είναι η ισχύς του

καυσίμου (η παροχή ενέργειας του καυσίμου) που καταναλώνεται από το σύστημα ($H_f = m_f H_u$), m_f είναι η παροχή μάζας του καυσίμου, και H_u η κατώτερη θερμογόνος δύναμή του. Πρέπει να σημειωθεί ότι, στην Ευρώπη η ανάλυση συνήθως γίνεται με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη ($K\Theta\Delta$). Στις ΗΠΑ συνήθως χρησιμοποιείται η ανώτερη θερμογόνος δύναμη ($A\Theta\Delta$) H_o .

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

$$\eta_e = W_e / H_f = W_e / (m_f H_u) \quad (3.24)$$

όπου W_e είναι η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος (η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται από το βοηθητικό εξοπλισμό αφαιρείται από την ηλεκτρική ισχύ της γεννήτριας). Επίσης, ο θερμικός βαθμός απόδοσης του μέρους παραγωγής της θερμότητας του συστήματος είναι:

$$\eta_{th} = Q / H_f = Q / (m_f H_u) \quad (3.25)$$

όπου Q είναι η ωφέλιμη θερμική ισχύς του συστήματος συμπαραγωγής. Τέλος, ο συνολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

$$\eta = \eta_e + \eta_{th} = (W_e + Q) / H_f \quad (3.26)$$

Η ποιότητα της θερμότητας είναι χαμηλότερη από αυτήν της ηλεκτρικής ενέργειας και ελαττώνεται με τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη (δηλαδή η ποιότητα της θερμότητας υπό μορφή ζεστού νερού είναι χαμηλότερη από την ποιότητά της υπό μορφή ατμού). Συνεπώς, δεν είναι σκόπιμο να προστίθεται η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα, όπως στην περίπτωση της εξίσωσης (3.26), και μερικές φορές είναι παραπλανητική μια σύγκριση μεταξύ συστημάτων με βάση τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης. Ακόμα κι αν μέχρι τώρα συνήθως χρησιμοποιούνται οι ενεργειακοί βαθμοί απόδοσης, μία θερμοδυναμικά ακριβέστερη αξιολόγηση και μία δικαιότερη σύγκριση μεταξύ των συστημάτων μπορεί να γίνει βάσει των εξεργειακών αποδοτικότητων.

Υπάρχουν όμως και άλλες σημαντικές παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται στα συστήματα ΣΗΘ, όπως είναι ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR):

$$PHR = W_e / Q \quad (3.27)$$

και ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων:

$$FESR = \frac{H_{fs} - H_{fl}}{H_{fs}} \quad (3.28)$$

όπου H_{fs} είναι η συνολική ισχύς των καυσίμων για χωριστή παραγωγή της W_e και της Q , και H_{fl} είναι η ισχύς των καυσίμων του συστήματος συμπαραγωγής που παράγουν τις ίδιες ποσότητες W_e και Q . Προκειμένου ένα σύστημα συμπαραγωγής να αποτελεί μια λογική επιλογή από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας, πρέπει να είναι: $FESR > 0$.

$$\eta = \eta_e \left(1 + \frac{1}{PHR} \right) \quad (3.29)$$

Οι εξισώσεις (3.24) έως (3.27) οδηγούν στις παρακάτω σχέσεις:

$$PHR = \frac{\eta_e}{\eta_{th}} = \frac{\eta_e}{\eta - \eta_e} \quad (3.30)$$

οι οποίες βοηθούν στον καθορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα ενός συστήματος, όταν είναι γνωστός ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσής του. Πρέπει να αναφερθεί ότι, σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες για την επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής.

Εάν θεωρηθεί ότι ένα σύστημα ΣΗΘ αντικαθιστά διακριτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης η_w και η_Q , αντίστοιχα, τότε αποδεικνύεται ότι

$$FESR = 1 - \frac{PHR + 1}{\eta \left(\frac{PHR}{\eta_w} + \frac{1}{\eta_Q} \right)} \quad (3.31)$$

όπου οι δείκτες W και Q υποδηλώνουν τη διακριτή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας (π.χ. από μία μονάδα ηλεκτροπαραγωγής και έναν λέβητα), αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, εάν ένα σύστημα ΣΗΘ με συνολικό βαθμό απόδοσης $\eta=0,80$ και λόγω ηλεκτρισμού προς θερμότητα $PHR=0,60$ υποκαθιστά μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με απόδοση $\eta_w=0,35$ και έναν λέβητα αποδοτικότητας $\eta_q=0,85$, τότε από την εξίσωση (3.31) προκύπτει: $FESR=0,325$. Αυτό σημαίνει ότι η συμπαραγωγή μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά 32,5%.

Η απόδοση ενός συστήματος εξαρτάται από το φορτίο και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Από την άλλη, ο βαθμός χρησιμοποίησης των παραγόμενων ενεργειακών μορφών επηρεάζεται από την αρχική επιλογή (σχεδιασμός) του συστήματος, τη στρατηγική της συμπαραγωγής (λειτουργικός έλεγχος) και τη σύμπτωση μεταξύ της παραγωγής και χρήσης των ωφέλιμων ενεργειακών μορφών. Για τους λόγους αυτούς, οι ολοκληρωτικοί δείκτες για μία χρονική περίοδο, π.χ. οι ετήσιοι δείκτες, είναι συχνά σημαντικότεροι από τους στιγμιαίους ή τους ονομαστικούς, δεδομένου ότι είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικοί της πραγματικής απόδοσης του συστήματος.

Επιπλέον υπάρχουν νομικά ζητήματα που καθιστούν σημαντικές τις ολοκληρωτικές τιμές των δεικτών. Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με το σχετικό νόμο για τα θέματα συμπαραγωγής στην Ελλάδα, για να μπορεί ένα σύστημα ΣΗΘ να είναι επιλέξιμο για επιδότηση πρέπει να έχει ένα ετήσιο συνολικό βαθμό απόδοσης τουλάχιστον 65% στο βιομηχανικό τομέα, και τουλάχιστον 60% στον τριτογενή τομέα. Εντούτοις, σε όλα τα προηγούμενα χρησιμοποιήθηκαν η ηλεκτρική και θερμική ισχύς και η ισχύς των καύσιμων (ενέργεια ανά μονάδα χρόνου), καταλήγοντας σε τιμές δεικτών που ισχύουν μόνο για μια ορισμένη χρονική στιγμή ή για ένα συγκεκριμένο φορτίο.

Όλοι οι ανωτέρω ορισμοί ισχύουν επίσης εάν η ισχύς αντικατασταθεί από την ενέργεια σε μία ορισμένη χρονική περίοδο. Τότε, οι προκύπτουσες ολοκληρωτικές τιμές των δεικτών υποδηλώνουν την απόδοση του συστήματος κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Έτσι, η εξίσωση (3.26) μπορεί να γραφτεί επίσης ως εξής:

$$\eta_a = (W_a + Q_a) / H_f \quad (3.32)$$

όπου W_{ea} είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα ΣΗΘ κατά τη διάρκεια ενός έτους, Q_a είναι η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας, και $H(a)$ είναι η ενέργεια των καυσίμων που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια ενός έτους. Συνεπώς, η εξίσωση (3.32) παρέχει τον ετήσιο ολικό βαθμό απόδοσης η^* του συστήματος

3.9.3. Ταξινόμηση των συστημάτων συμπαραγωγής

3.9.3.1. Τύποι σχημάτων συμπαραγωγής

Ήδη από το 1900 υπήρχε η πρώτη εφαρμογή αυτού που είναι σήμερα γνωστό ως "συμπαραγωγή" σε μερικές μεγάλες πόλεις και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ο κύριος κινητήρας των γεννητριών ήταν παλινδρομικές ατμομηχανές που συνήθως απέβαλαν ατμό χαμηλής πίεσης σε κεντρικούς αγωγούς διανομής, οι οποίοι τροφοδοτούσαν με αυτόν συστήματα θέρμανσης και παραγωγικών διεργασιών. Με τον τρόπο αυτό γεννήθηκαν οι πρώτες εγκαταστάσεις «συμπαραγωγής αιχμής», οι οποίες πήραν την ονομασία αυτή από την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για χρήση τους σε παραγωγικές διεργασίες.

Η εν λόγω ορολογία δεν χρησιμοποιήθηκε γι' αυτόν τον τύπο παραγωγής μέχρι τη δεκαετία του '70, και ο όρος «αιχμή» αναφέρεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από τον κύριο κινητήρα ως πρωταρχική λειτουργία και η θερμική ενέργεια που απορρίπτεται από αυτόν χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τις διεργασίες της μονάδας. Η άλλη διάταξη, κατά την οποία η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από απορριπτόμενο ατμό, είναι γνωστή ως κύκλος «βάσης». Κατά συνέπεια, διακρίνονται δύο κύριοι τύποι συμπαραγωγής: τα συστήματα «αιχμής» και «βάσης».

Υπάρχουν τέσσερις τύποι συστημάτων συμπαραγωγής κύκλου αιχμής. Στον πρώτο τύπο τα καύσιμα καταναλώνονται σε έναν αεριοστρόβιλο ή μια μηχανή diesel για την παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος. Τα καυσαέρια παρέχουν θερμότητα για διεργασίες, ή οδηγούνται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός για τη λειτουργία ενός δευτερεύοντος ατμοστροβίλου. Αυτό είναι ένα σύστημα αιχμής συνδυασμένου κύκλου. Ο δεύτερος τύπος συστήματος καταναλώνει καύσιμα (οποιοδήποτε είδους) για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης που στη συνέχεια οδηγείται σε ατμοστρόβιλο παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η εξαγωγή παρέχει ατμό διεργασιών χαμηλής πίεσης. Αυτό είναι ένα ατμοστροβιλικό σύστημα αιχμής.

Ο τρίτος τύπος καταναλώνει καύσιμα όπως είναι το φυσικό αέριο, το diesel, τα ξύλα, ο αεριοποιημένος άνθρακας, ή το αέριο ΧΥΤΑ. Το ζεστό νερό από το σύστημα ψύξης των χιτωνίων της μηχανής οδηγείται σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου μετατρέπεται σε ατμό διεργασιών και ζεστό νερό για θέρμανση χώρων. Ο τέταρτος τύπος είναι ένα αεριοστροβιλικό σύστημα αιχμής. Ένας στρόβιλος φυσικού αερίου οδηγεί μια γεννήτρια και τα καυσαέρια οδηγούνται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός και θερμότητα διεργασιών. Σε μία μονάδα κύκλου αιχμής χρησιμοποιούνται πάντοτε κάποια πρόσθετα καύσιμα, πέραν αυτών που απαιτούνται για την παραγωγική διεργασία, και έτσι υφίσταται ένα λειτουργικό κόστος που σχετίζεται με την ηλεκτροπαραγωγή.

Τα συστήματα κύκλου «βάσης» είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένα από τα αντίστοιχα κύκλου «αιχμής». Τέτοια συστήματα συναντώνται σε βαριές βιομηχανίες, όπως αυτές του γυαλιού ή οι μεταλλουργικές, όπου χρησιμοποιούνται φούρνοι πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Ένας λέβητας ανάκτησης της απόβλητης θερμότητας συλλέγει τη θερμότητα που αποβάλλεται από κάποια θερμική παραγωγική διεργασία. Αυτή η απορριπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να παραχθεί ατμός ο οποίος κινεί έναν ατμοστρόβιλο που παράγει ηλεκτρισμό. Δεδομένου ότι το καύσιμο καίγεται πρώτα κατά την παραγωγική διεργασία, δεν απαιτείται καμία πρόσθετη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.9.3.2. Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής

Ο τρόπος λειτουργίας χαρακτηρίζεται από το κριτήριο στο οποίο βασίζεται η ρύθμιση της παραγωγής του ηλεκτρισμού και της ωφέλιμης θερμότητας ενός συστήματος συμπαραγωγής. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι λειτουργίας, οι πιο ευδιάκριτοι από τους οποίους παρατίθενται στη συνέχεια:

Κάλυψη του θερμικού φορτίου: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος συμπαραγωγής είναι ίση με το θερμικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος). Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.

Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάση: Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την

εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, εάν το επιτρέπουν οι ισχύοντες νόμοι, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην ηλεκτρική εταιρεία.

Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου: Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ). Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων.

Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης: Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα συμπαραγωγής μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.

Μικτή κάλυψη: Σε ορισμένες χρονικές περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.

Αυτόνομη λειτουργία: Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυναμικότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος.

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων - FESR) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα.

Εντούτοις, η εφαρμογή γενικών κανόνων δεν είναι η συνετότερη προσέγγιση για την περίπτωση της συμπαραγωγής. Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο. Εξάλλου, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται οι διάφορες τεχνικές και οικονομικές παράμετροι με την ημέρα και τη χρονική στιγμή.

Όλες αυτές οι πτυχές καθιστούν αναγκαία τη λήψη αποφάσεων όχι βάσει γενικών κανόνων μόνο, αλλά με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος. Για τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, ειδικότερα, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ να λειτουργούν για την κάλυψη κάποιου φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομικότερα βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης).

Στην τελευταία περίπτωση, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη της απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής, περιλαμβανομένων:

του βαθμού απόδοσης του συστήματος και του ποσού της διαθέσιμης ωφέλιμης θερμότητας, των ηλεκτρικών και των θερμικών αναγκών του χρήστη, της ποσότητας της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποδοθεί στο δίκτυο, και του ποσού της θερμότητας που πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον,

του κόστους της αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της αξίας των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι αυτά μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας, ή την εποχή.

Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να καθορίσει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι ο πιο οικονομικός, ακόμη και το κατά πόσο η μονάδα πρέπει να διακόψει τη λειτουργία της. Επιπλέον, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η αποδοτικότητα, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κλπ., ο μικρο-επεξεργαστής μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της συντήρησης του συστήματος. Εάν το σύστημα λειτουργεί χωρίς άμεση επίβλεψη, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής με ένα κέντρο τηλε-παρακολούθησης, όπου η ανάλυση των δεδομένων μέσω Η/Υ μπορεί να προειδοποιήσει το εξειδικευμένο προσωπικό για μία επικείμενη ανάγκη προγραμματισμένης ή μη συντήρησης. Επιπλέον, ως τμήμα ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συντάσσει εκθέσεις για την τεχνική και την οικονομική απόδοση του συστήματος.

3.10. Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής

3.10.1. Συγκρότηση σταθμού και διατάξεις κυκλωμάτων

Η βασική συγκρότηση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής φαίνεται στο σχ. 3.88. Το καύσιμο καίγεται στην εστία ενός ατμοπαραγωγού μέσα στον οποίο παράγεται ατμός. Ο ατμός κινεί το στρόβιλο ο οποίος στη συνέχεια κινεί την ηλεκτρογεννήτρια. Από το στρόβιλο ο ατμός πηγαίνει σε ένα συμπυκνωτή όπου μετατρέπεται πάλι σε νερό, το οποίο επιστρέφει στον ατμοπαραγωγό.

Η λεπτομερέστερη διάταξη του σταθμού στην οποία φαίνονται σχηματικά οι κύριες εγκαταστάσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ένα σύγχρονο σταθμό για να αυξάνουν την απόδοση, δείχνονται στο σχ. 3.89.

Το κύκλωμα του ατμού μετά την έξοδο από τον ατμοπαραγωγό περιλαμβάνει τον υπερθερμαντή, πριν από τη βαθμίδα υψηλής πίεσεως του στροβίλου. Μεταξύ αυτής και της βαθμίδας χαμηλής πίεσεως παρεμβάλλεται επαναθερμαντής για την αύξηση της ενέργειας

του ατμού μετά την εκτόνωση του στη βαθμίδα ΥΠ. Το κύκλωμα του ύδατος μετά το συμπυκνωτή περιλαμβάνει μια σειρά θερμομαντών και αντλιών για την προθέρμανση του ύδατος και την τροφοδότηση του λέβητα. Οι θερμομαντές θερμαίνονται με ατμό, ο οποίος παρέχεται από απομαστεύσεις ατμού από το στρόβιλο. Ο τελευταίος θερμομαντής ύδατος είναι ο οικονομητής.

Φαίνονται επίσης στο σχ. 3.89 το κύκλωμα του ύδατος ψύξεως του συμπυκνωτή με την αντλία κυκλοφορίας του, ο προθερμαντής του αέρα καύσεως και οι ανεμιστήρες αέρα και καυσαερίων. Η φυσική διάταξη του κύριου εξοπλισμού φαίνεται στο σχ. 3.90. Η εστία βρίσκεται στο εσωτερικό του αμοπαγωγού και περιβάλλεται από τους αυλούς με το νερό.

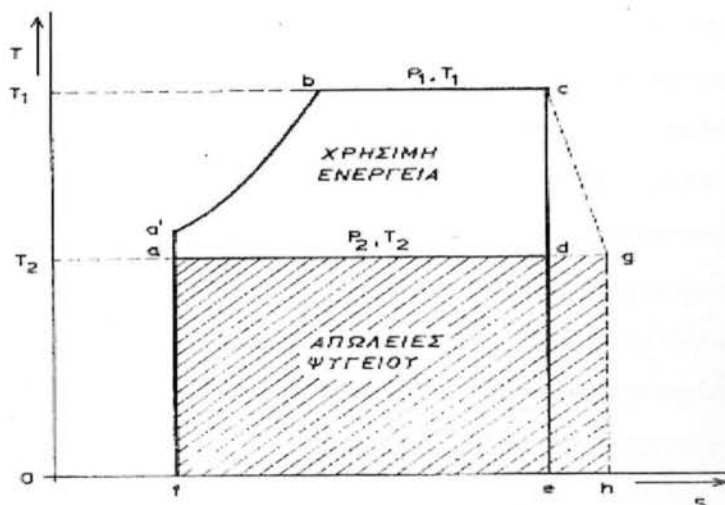
Φαίνεται η τροφοδότηση της με τον κονιοποιημένο άνθρακα και η απόρριψη της τέφρας. Στην πορεία των καυσαερίων είναι εγκατεστημένοι ο υπερθερμαντής, στην περιοχή της υψηλότερης θερμοκρασίας, ο επαναθερμαντής και ο οικονομητής. Τα καυσαέρια κατόπιν οδηγούνται προς την καπνοδόχο. Διακρίνεται η τροφοδότηση του στρόβιλου ΥΠ από τον υπερθερμαντή και οι απομαστεύσεις ατμού. Οι συνδέσεις στρόβιλου-επαναθερμαντή παραλείπονται για απλούστευση του σχεδίου. Το σχ. 3.91 δείχνει ενδεικτικές θερμοκρασίες και πιέσεις ατμού και νερού στις διάφορες θέσεις των ανωτέρω κυκλωμάτων μιας μικρής μονάδας.

Οι μέγιστες θερμοκρασίες και πιέσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα στις μεγάλες ατμοηλεκτρικές μονάδες είναι 550 - 600° C και 250 - 300 at.. Στο σχ. 3.92 δίνονται τα κυκλώματα ατμού-ύδατος μιας λιγνιτικής μονάδας 300 MW του ατμοηλεκτρικού σταθμού Πτολεμαΐδας της ΔΕΗ.

Εάν ο σταθμός παραγωγής είναι εγκατεστημένος μακριά από θάλασσα, ποταμό ή λίμνη δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό για τη συμπύκνωση του ατμού. Στην περίπτωση αυτή η συμπύκνωση γίνεται σε πύργους ψύξεως φυσικού ή τεχνητού ελκυσμού αέρα. Ένας πύργος ψύξεως με φυσική κυκλοφορία αέρα παριστάνεται στο σχ. 3.93. Η μορφή των πύργων αυτών είναι υπερβολοειδής εκ περιστροφής.

3.10.2. Θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που εφαρμόζεται στην περίπτωση της μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανική είναι τύπου Clausius-Rankine και παριστάνεται στο σχ. 3.86, σε διάγραμμα T-s.



Σχήμα 3.86 Διάγραμμα θερμοκρασίας-εντροπίας θερμοδυναμικού κύκλου χωρίς υπερθέρμανση ατμού

Στο σημείο a το νερό μπαίνει στον ατμοπαραγωγό (λέβητα) υπό θερμοκρασία T_2 και πίεση P_1 . Εκεί θερμαίνεται υπό σταθερή πίεση μέχρι του σημείου του βρασμού, σημείο b θερμοκρασίας T_1 . Κατά τη φάση αυτή αυξάνει και η εντροπία. Στη συνέχεια το νερό ατμοποιείται, κατά την οριζόντια bc, υπό σταθερή θερμοκρασία κατά την οποία προσδίδεται η λανθάνουσα θερμότητα. Μετά ο ατμός εκτονώνεται στο στρόβιλο, όπου μέρος της ενέργειας του μετατρέπεται σε μηχανική.

Η εκτόνωση αυτή γίνεται αδιαβατικά, δηλ. ισεντροπικά (στην ιδανική περίπτωση) κατά την κατακόρυφη cd και στη συνέχεια ο ατμός συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή κατά την da υπό σταθερή θερμοκρασία συμπυκνώσεως T_2 . Πλησιάζοντας στο σημείο a το νερό έχει πίεση P_2 . Εκεί μεσολαβεί η τροφοδοτική αντλία ΥΠ η οποία ανεβάζει την πίεση του νερού κατά την είσοδο του στο λέβητα σε P_1 . (a').

Στο σημείο α' επίσης η θερμοκρασία του ύδατος (T_2) θεωρείται ότι έχει ήδη ανυψωθεί ορισμένους βαθμούς λόγω της προθερμάνσεως και συμπίεσεως. Η εκτόνωση του ατμού στο στρόβιλο θα γινόταν κατά την cd εάν ο συνολικός βαθμός αποδόσεως του στρόβιλου ήταν 100%, δηλαδή αν ο στρόβιλος έπαιρνε όλη την ενέργεια του ατμού. Επειδή όμως στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει αυτό, δεν μετατρέπεται όλη η ενέργεια μεταξύ T_1 και T_2 σε μηχανική ενέργεια αλλά μέρος της μετατρέπεται σε απώλειες, δηλ. η εντροπία αυξάνει και συνεπώς η εκτόνωση του ατμού γίνεται κατά την διαδρομή cg.

Η συνολική ενέργεια του ατμού που εισέρχεται στο στρόβιλο είναι (α α' b c d e f). Στην ιδανική περίπτωση η ωφέλιμη ενέργεια θα ήταν (α α' b c d), οι απώλειες στο ψυγείο (a d e f) και ο βαθμός αποδόσεως

$$\frac{(α α' b c d)}{(α α' b c d e f)}$$

Στην πραγματικότητα η ωφέλιμη ενέργεια μειώνεται κατά τις απώλειες του στρόβιλου που εμφανίζονται σαν πρόσθετη θερμότητα που χάνεται στο ψυγείο. Οι τελευταίες εκπροσωπούνται από το εμβαδόν (d g h e). Συνεπώς η ωφέλιμη ενέργεια αντιστοιχεί στη διαφορά (α α' b c d) - (d g h e), οι απώλειες του ψυγείου (a g h f) και ο βαθμός αποδόσεως από το λόγο(σχ. 3.86):

$$\frac{(α α' b c d) - (d g h e)}{(α α' b c d e f)}$$

Είναι σαφές ότι η απόδοση του κύκλου δεν μπορεί να είναι υψηλή δεδομένου ότι μεταξύ της ωφέλιμης ενέργειας και της ενέργειας που χάνεται στο ψυγείο παρεμβάλλεται η σταθερή διαχωριστική γραμμή της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως, η οποία δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 273°K (0°C).

Η θερμότητα που προστίθεται κατά τη διάρκεια της ατμοποίησης bc, δηλ. υπό τη μέγιστη θερμοκρασία T_1 , αποδίδει ενέργεια καθ' όλη τη θερμοκρασιακή πτώση T_1-T_2 . Η θερμότητα που απλώς ανυψώνει τη θερμοκρασία του ύδατος μέχρι του σημείου βρασμού, κατά τη διαδρομή ad, προστίθεται υπό διάφορες θερμοκρασίες μεταξύ T_2 και T_1 . Συνεπώς η θερμότητα αυτή είναι λιγότερο αποδοτική σε σχέση με εκείνη που παράγει τον ατμό.

3.10.3. Βαθμός απόδοσης θερμοδυναμικού κύκλου

Ένα μέρος από τη θερμική ενέργεια που παράγεται στην εστία χάνεται από ακτινοβολία και αγωγιμότητα, αλλά κυρίως με την έξοδο των καυσαερίων από την καπνοδόχο. Η υπόλοιπη ενέργεια παραλαμβάνεται από το φορέα, το νερό, το οποίο ατμοποιείται. Ένα μέρος της ενέργειας του ατμού μετατρέπεται σε κινητική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά το μεγαλύτερο μέρος, περίπου τα 2/3, χάνεται σαν απώλεια στην καπνοδόχο.

Ο ιδανικός βαθμός απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου, σαν λόγος της ενέργειας που προσδίνεται στο στρόβιλο υπό μορφή θερμότητας προς τη θερμική ενέργεια που προσδίνεται στο νερό του ατμοπαραγωγού είναι:

$$\eta_i = \frac{Q_1 - Q_2}{Q} \quad (3.33)$$

όπου, Q_1 η ενέργεια που δόθηκε στον ατμό του ατμοπαραγωγού και Q_2 η ενέργεια που χάθηκε στο ψυγείο.

Ο ιδανικός βαθμός αποδόσεως μπορεί να γραφεί επίσης ως,

$$\eta_i = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_w} \quad (3.34)$$

Όπου:

h_1 , η ενθαλπία του ατμού κατά την είσοδο του στο στρόβιλο

h_2 , η ενθαλπία του ατμού κατά την έξοδο από το στρόβιλο

h_w , η ενθαλπία του συμπυκνώματος στο ψυγείο.

Ο μέγιστος ιδανικός βαθμός αποδόσεως μπορεί να εκφραστεί με το λόγο:

$$(3.35)$$

$$\eta_{i\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

T_1 είναι η απόλυτη θερμοκρασία με την οποία προσδίνεται η θερμότητα στον ατμό

T_2 , είναι η απόλυτη θερμοκρασία συμπυκνώσεως.

Η έκφραση (3.35) δίνει το μέγιστο βαθμό, εφόσον T_1 είναι η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου υπό την οποία προσδίνεται θερμότητα στον ατμό. Ακόμα όμως και στον πιο σύγχρονο σταθμό δεν μπορεί να ισχύει ο τύπος (3.35) διότι μόνο ένα πολύ μικρό μέρος της θερμότητας Q_1 εισέρχεται στον ατμό με τη μέγιστη θερμοκρασία T_1 . Δηλαδή ο τύπος (3.35) θα ίσχυε και οι τύποι (3.33) και (3.34) θα ήταν ίσοι με αυτόν μόνο εάν όλη η θερμότητα Q_1 εισερχόταν στον ατμό με τη μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου T_1 .

Είναι φανερό ότι για να επιτευχθεί απόδοση 100% θα έπρεπε ο ατμός να βγαίνει από το στρόβιλο με θερμοκρασία ίση με το απόλυτο-μηδέν, πράγμα το οποίο είναι απραγματοποίητο. Όπως στην περίπτωση της υδατοπτώσεως το νερό αποδίδει **ενέργεια** πέφτοντας από μια στάθμη σε μια χαμηλότερη, έτσι και ο ατμός αποδίδει ενέργεια πέφτοντας από μια υψηλή θερμοκρασία σε μια χαμηλότερη. Και στις δύο περιπτώσεις παραμένει ενέργεια στο φορέα μετά την πτώση στη χαμηλότερη στάθμη, ή θερμοκρασία, και είναι αδύνατο να μετατρέψει κανείς αυτό το υπόλοιπο σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Στη θεώρηση του βαθμού αποδόσεως ενός θερμοδυναμικού κύκλου αυτή την υπόλοιπη αχρησιμοποίητη ενέργεια την καταλογίζουμε σαν απώλεια. Αν θεωρήσουμε λειτουργία υπό το μέγιστο ιδανικό βαθμό αποδόσεως (3.35) θα είναι:

$$\frac{Q - Q_2}{Q} = \frac{Q_1 T_1 - T_2}{T_1} = (T_1 - T_2) \quad (3.36)$$

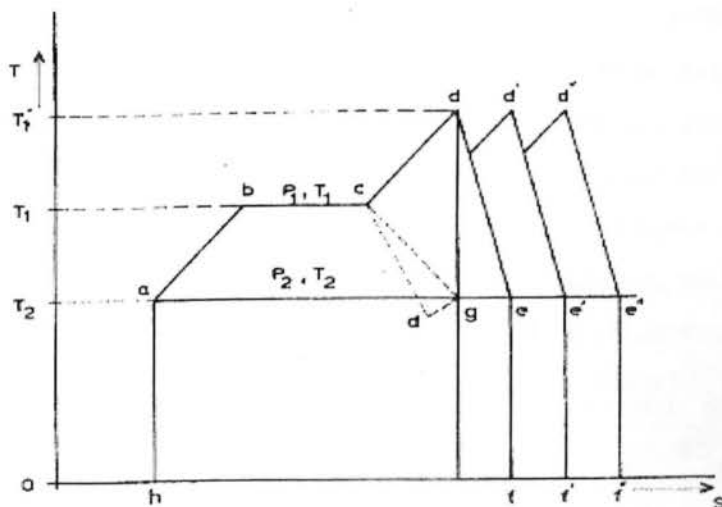
δηλαδή η ωφέλιμη ενέργεια είναι ίση με τη θερμοκρασιακή πτώση ($T_1 - T_2$), από την οποία προέκυψε, επί μια ποσότητα $S = Q_1 / T_1$, η οποία καλείται εντροπία (εφόσον η θερμοκρασιακή διαφορά αντιστοιχεί με την υψομετρική διαφορά της υδατοπτώσεως η εντροπία αντιστοιχεί με το βάρος του νερού στην περίπτωση ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου).

3.10.4. Βελτίωση αποδόσεως θερμοδυναμικού κύκλου

Κατά τα τελευταία στάδια της εκτονώσεως του ατμού στο στρόβιλο μέρος του ατμού συμπυκνώνεται, στο οποίο οφείλεται και μια ελαφρά καμπύλωση της γραμμής cg προς το τέλος της διαδρομής. Υγρός ατμός όμως στο στρόβιλο είναι ανεπιθύμητος γιατί αυξάνει τη μηχανική αντίσταση και δημιουργεί συνθήκες οξειδώσεως των πτερυγίων.

Για να ελαττωθεί αυτό ο ατμός υπερθερμαίνεται, δηλ. θερμαίνεται σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία βρασμού (T_1) που αντιστοιχεί στη μέγιστη χρησιμοποιούμενη πίεση (P_1). Το σχ. 3.87 δείχνει το διάγραμμα του θερμοδυναμικού κύκλου με τις ίδιες συνθήκες του σχ. 3.86, αλλά με υπερθέρμανση του ατμού στη θερμοκρασία T_1 .

Όλη η θερμότητα που χρησιμοποιείται για υπερθέρμανση δίνεται με θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία ατμοποίησης και συνεπώς στην εκτόνωση γίνεται μια μεγαλύτερη θερμοκρασιακή πτώση.



Σχ. 3.87: Διάγραμμα θερμοκρασίας εντροπίας θερμοδυναμικού κύκλου με υπερθέρμανση και επαναθέρμανση ατμού

Άρα η Θερμότητα που δίνεται για υπερθέρμανση του ατμού χρησιμοποιείται αποδοτικότερα και βελτιώνει τη συνολική απόδοση του κύκλου. Οποσδήποτε όμως όχι πολύ δεδομένου ότι λίγες σχετικώς θερμίδες προσδίδονται σε θερμοκρασίες υπερθερμάνσεως. Ένα άλλο πλεονέκτημα του υπέρθερμου ατμού είναι η μειωμένη ποσότητά του για δεδομένη παραγωγή ενέργειας.

Προφανής τρόπος σημαντικής βελτιώσεως του βαθμού αποδόσεως είναι η ανύψωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης T_1 και συνεπώς και της πίεσεως P_1 . Με τον τρόπο αυτόν αυξάνει η επιφάνεια (a b c d) του σχ. 3.86, χωρίς να αυξηθούν οι απώλειες συμπτυκνώσεως.

Η επιπλέον θερμότητα προστίθεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία και έτσι έχει σαν αποτέλεσμα αποδοτικότερο κύκλο λειτουργίας.

Μια ακόμη βελτίωση της αποδόσεως επιτυγχάνεται, με την επαναθέρμανση του ατμού, δηλ. την επιστροφή του ατμού σε κάποιο στάδιο εκτονώσεως, από το στρόβιλο στον αμοπαγωγό και επαναθέρμανσή του στην αρχική σχεδόν θερμοκρασία υπερθερμάνσεως (σχ. 3.87, σημεία d, d').

Με την επαναθέρμανση του ένα μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής θερμότητας δίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να αυξηθεί, η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας.

Μείωση της P_2 ελαττώνει την ενθαλπία του ατμού h_2 , κατά την έξοδό του από το στρόβιλο και συνεπώς αυξάνει το βαθμό αποδόσεως.

Άλλος συνηθισμένος τρόπος αύξησεως της απόδοσης είναι η χρησιμοποίηση ατμού από το στρόβιλο για την προθέρμανση του νερού που επιστρέφει στο λέβητα. Αυτό γίνεται με τις απομαστεύσεις ατμού από το στρόβιλο, όπου έχει αποδώσει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του και την προσαγωγή του στους προθερμαντές. Η συμμετοχή των απομαστεύσεων στη βελτίωση του βαθμού αποδόσεως θα εξεταστεί στη συνέχεια.

3.10.5. Επίδραση απομαστεύσεων ατμού στο βαθμό του θερμοδυναμικού κύκλου

Το θερμικό περιεχόμενο 1 Kg ατμού κατά την έξοδο του από το στρόβιλο είναι h_2 . Στο ψυγείο συμπυκνώνεται σε ύδωρ θερμοπεριεκτικότητας h_w και στον αμοπαγωγό εισέρχεται με h_{w1} . Από τον αμοπαγωγό πηγαίνει στον στρόβιλο ως ατμός θερμοπεριεκτικότητας h_1 . Αν οι συνολικές απομαστεύσεις είναι $\Sigma\alpha$, προς το λέβητα πηγαίνει ποσότητα ύδατος $1+\Sigma\alpha$.

Στο νερό που πηγαίνει στον αμοπαγωγό προσδόθηκε θερμότητα $(1+\Sigma\alpha) \times (h_1-h_{w1})$ για να γίνει ατμός. Ο ατμός χάνει στο ψυγείο θερμότητα (h_2-h_{w1}) και συνεπώς η θερμότητα που μετατράπηκε σε ενέργεια είναι:

$$(1+\Sigma\alpha) (h_1-h_{w1}) - (h_2-h_{w1})$$

Ο βαθμός αποδόσεως του θερμοδυναμικού κύκλου γίνεται λοιπόν:

$$\frac{(1 + \Sigma\alpha)(h_1 - h_2) - (h_2 - h_w)}{(1 + \Sigma\alpha)(h_1 - h_w)}$$

ή

$$\eta_{ia} = 1 - \frac{h_2 - h_w}{(1 + \Sigma\alpha)(h_2 - h_w I)} \quad (3.37.)$$

Παρατηρούμε ότι για $\Sigma\alpha=0$ προκύπτει ο τύπος (3.34.) του βαθμού αποδόσεως χωρίς απομαστεύσεις. Συνεπώς για $\Sigma\alpha>0$ είναι:

$$\eta_{ia} > \eta_i \quad (3.38.)$$

3.10.6. Απώλειες καπνοδόχου

Η μεγαλύτερη πηγή απωλειών μετά το συμπυκνωτή του ατμού είναι η θερμότητα η οποία διαφεύγει από την καπνοδόχο με τα καυσαέρια. Παρά την απορρόφηση ορισμένης θερμότητας από τον οικονομητή και τους προθερμαντές αέρος, οι οποίοι για το λόγο αυτόν παρεμβάλλονται στη διαδρομή των καυσαερίων, η θερμότητα που διαφεύγει είναι ακόμη πολλή.

Εν τούτοις η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι αρκετά μικρή για το φυσικό ελκυσμό τους, ιδίως με την παρεμβολή των προθερμαντών, ώστε χρησιμοποιείται τεχνητός ελκυσμός με κατάλληλους εξαεριστήρες για τη ρύθμιση της ροής του αέρος καύσεως.

3.10.7. Ολικός βαθμός αποδόσεως ατμοηλεκτρικής εγκατάστασης και κατανάλωση καυσίμου

Ο ολικός βαθμός αποδόσεως ισούται με το γινόμενο των επί μέρους βαθμών αποδόσεως,

$$\eta_{ολ} = \eta_a \eta_{θ} \eta_{σ} \eta_{μσ} \eta_{γ}^ε \eta_{τ} \quad (3.39)$$

Οι οποίοι είναι οι εξής:

η_a : ο βαθμός απόδοσης ατμοπαραγωγού = (3.40)

$$= \frac{\text{προσδιδόμενη θερμότητα στον ατμοπαραγωγό}}{\text{εισερχόμενη θερμότητα υπό μορφή καυσίμου}}$$

η_θ : βαθμός απόδοσης θερμοδυναμικού κύκλου :

$\eta_{\theta\sigma}$: θερμικός βαθμός απόδοσης στροβίλου =

$$= \frac{\text{παραγόμενο μηχανικό έργο}}{\text{ωφέλιμη θερμική ενέργεια εισερχόμενη στο στρόβιλο}}$$

$\eta_{\mu\sigma}$: μηχανικός βαθμός απόδοσης στροβίλου =

$$= \frac{\text{εξερχόμενο μηχανικό έργο}}{\text{παραγόμενο μηχανικό έργο}}$$

η_γ : βαθμός απόδοσης γεννήτριας =

$$= \frac{\text{παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια}}{\text{εισερχόμενο μηχανικό έργο}}$$

η_e : βαθμός απόδοσης εσωτερικής υπηρεσίας $\frac{1}{1+\varepsilon}$, όπου ε η καταναλισκόμενη ενέργεια

εσωτερικής υπηρεσίας (βοηθητικά μηχανήματα, κινητήρες, θερμικά φορτία, φωτισμός κλπ)

: βαθμός απόδοσης μετασχηματιστή =

$$= \frac{\text{εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια}}{\text{εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια}}$$

Πλην του βαθμού απόδοσης την οικονομικότητα του σταθμού παραγωγής επηρεάζει το είδος και η ποιότητα του καυσίμου. Κατωτέρω αναφέρονται σχετικοί ορισμοί και μεγέθη:

Θερμικό δυναμικό KWh: 1KWh=860 Kcal (3.41)

Ειδική κατανάλωση θερμότητας:

$$w_g = \frac{860}{\eta_{ολ}} (Kcal / Kwh) \quad (3.42)$$

Ειδική κατανάλωση καυσίμου:

$$w_k = \frac{860}{\eta_{ολ}^g} (Kg / KWh) \quad (3.43)$$

Όπου θ η θερμογόνος δύναμη καυσίμου (Kcal/Kg).

Συνολική κατανάλωση καυσίμου:

$$w_{ολ} = \frac{860}{\eta_{ολ}^g} (Kg) \quad (3.44)$$

Όπου E η παραγόμενη ενέργεια (KWh).

3.10.8. Η θερμοδυναμική του ατμοστρόβιλου

Ο ατμοστρόβιλος παίρνει μηχανική ενέργεια με την αλλαγή της ορμής του εκτοξευμένου ατμού, ο οποίος αφήνεται να περάσει δια μέσου ακροφυσίων. Ο εκτοξευόμενος ατμός προσπίπτει στα κινούμενα πτερύγια, τα οποία μετατρέπουν την κινητική ενέργεια της μάζας του ατμού σε περιστροφική ενέργεια του άξονα του στροβίλου και μετά ρέει προς την επόμενη βαθμίδα ακροφυσίων-πτερυγίων.

Η απόδοση των βαθμίδων και η συνεπαγόμενη απόδοση του στροβίλου προσδιορίζονται με τη βοήθεια του διαγράμματος Mollier. Το διάγραμμα Mollier συσχετίζει την ενθαλπία με την εντροπία του ατμού-νερού για διάφορες θερμοκρασίες και πιέσεις. Η απόδοση είναι ο λόγος της πραγματικής πτώσεως της ενθαλπίας προς την ισεντροπική πτώση της ενθαλπίας. Η τελευταία εμφανίζεται σαν κάθετη γραμμή στο διάγραμμα Mollier.

Η ισεντροπική πτώση της ενθαλπίας χαρακτηρίζεται ως η διαθέσιμη ενέργεια. Για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του στροβίλου, η διαθέσιμη ενέργεια πρέπει να μοιραστεί κατάλληλα μεταξύ των βαθμίδων. Η βέλτιστη διαίρεση της συνολικής πτώσεως της πίεσεως και της διαθέσιμης ενέργειας μεταξύ των βαθμίδων καθορίζεται από το λόγο ταχυτήτων

W/V_0 για κάθε βαθμίδα. Το W είναι η ταχύτητα των πτερυγίων, όπως προσδιορίζεται από την ακτίνα και τη γωνιακή ταχύτητα του άξονα και V_0 η θεωρητική ταχύτητα του εκτοξευόμενου ατμού για τη διαφορά ενθαλπίας της διαθέσιμης ενέργειας κάθε βαθμίδας.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύπου βαθμίδων, οι βαθμίδες **δράσεως** και αντιδράσεως. Σε μια βαθμίδα **δράσεως** η εκτόνωση του ατμού γίνεται όλη στο ακροφύσιο. Τα πτερύγια μετατρέπουν τη δημιουργούμενη ταχύτητα του ατμού σε περιστρεφόμενη ενέργεια. Στις βαθμίδες αντιδράσεως η εκτόνωση, δηλαδή η πτώση της πίεσεως του ατμού γίνεται και στα δύο, στο ακροφύσιο και στο περιστρεφόμενο πτερύγιο. Οι περισσότεροι ατμοστρόβιλοι χρησιμοποιούν και τους δύο τύπους, δράσεως και αντιδράσεως, ενώ μερικοί είναι κυρίως ατμοστρόβιλοι δράσεως και άλλοι ατμοστρόβιλοι αντιδράσεως.

3.10.9. Αξιοπιστία λειτουργίας

Ο καλύτερος δείκτης αξιοπιστίας λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής είναι ο ρυθμός μη προγραμματισμένων διακοπών, ένας ορισμός του οποίου είναι:

$$PMΠΔ = \frac{\text{Ώρες μη προγραμματισμένων διακοπών}}{\text{Ώρες μη προγραμματισμένων διακοπών και ώρες λειτουργίας}}$$

Ο ΡΜΠΔ προσδιορίζεται όσο γίνεται ακριβέστερα σαν η πιθανότητα να μην είναι διαθέσιμη η μονάδα να εξυπηρετήσει το φορτίο όταν χρειαστεί. Η επίπτωση του ρυθμού μη προγραμματισμένων διακοπών στη σχεδίαση του συστήματος μπορεί να είναι σημαντική, μετρούμενη με τις αντίστοιχες απαιτήσεις σε εφεδρεία. Το απαιτούμενο μέγεθος εφεδρείας για μια ορισμένη μονάδα εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας σε σχέση με το μέγεθος του συστήματος.

Ο ρυθμός μη προγραμματισμένων διακοπών ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του στροβίλου, το μέγεθος της μονάδας και την ηλικία της. Λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες αυτούς η τιμή του ΡΜΠΔ μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 15 τοις εκατό.

3.10.10. Θέση σταθμού παραγωγής

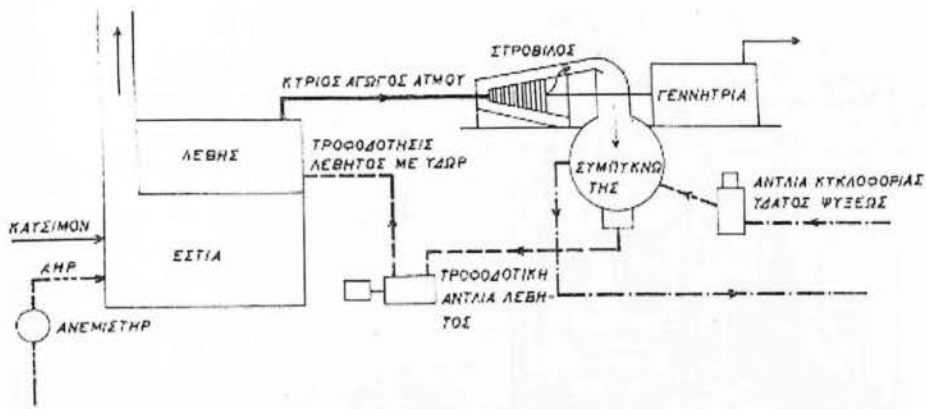
Τα προβλήματα επιλογής της θέσεως ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού είναι σήμερα σημαντικά. Μερικά από αυτά οφείλονται.:

- α) Στην αύξηση του μεγέθους των σταθμών λόγω αυξήσεως του μεγέθους του συστήματος,
- β) Στις επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- γ) Στο κόστος μεταφοράς του καυσίμου.

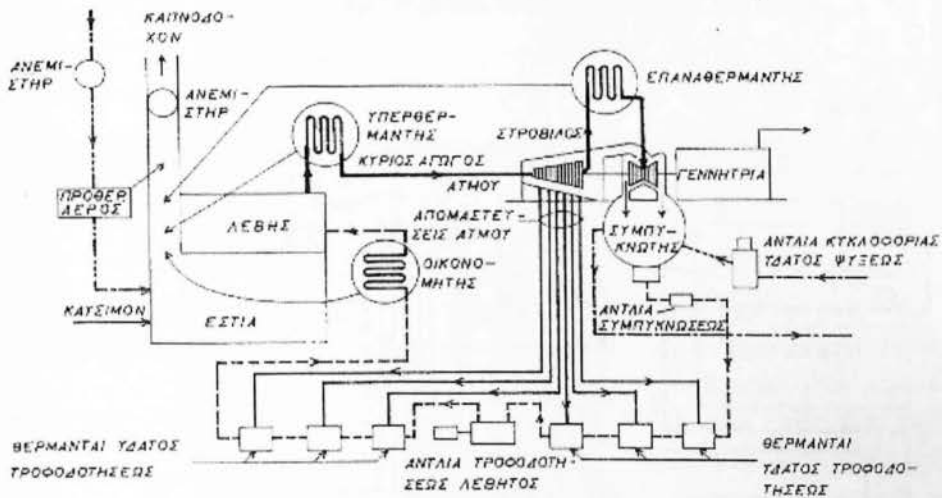
Οι σταθμοί παραγωγής εγκαθίστανται για να εξυπηρετήσουν τα φορτία της καταναλώσεως, τα οποία διπλασιάζονται σε λιγότερο από δέκα χρόνια, Συνεπώς οι ανάγκες για νέες θέσεις σταθμών είναι μεγάλες. Οι οικολογικοί παράγοντες ασκούν σήμερα σημαντική επίδραση στην επιλογή της θέσης.

Επειδή οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες νερού για ψύξη (συμπύκνωση του ατμού) πρέπει να βρίσκονται κοντά σε επαρκή ποσότητα νερού. Καθώς το νερό ρίχνεται από το εργοστάσιο πάλι πίσω στη λίμνη ή θάλασσα, η θερμοκρασία του νερού αυξάνει, με ενδεχόμενη επίδραση στην οικολογία του νερού. Η χρησιμοποίηση πύργων ψύξεως αυξάνει τις δαπάνες κεφαλαίου και μειώνει την απόδοση του σταθμού.

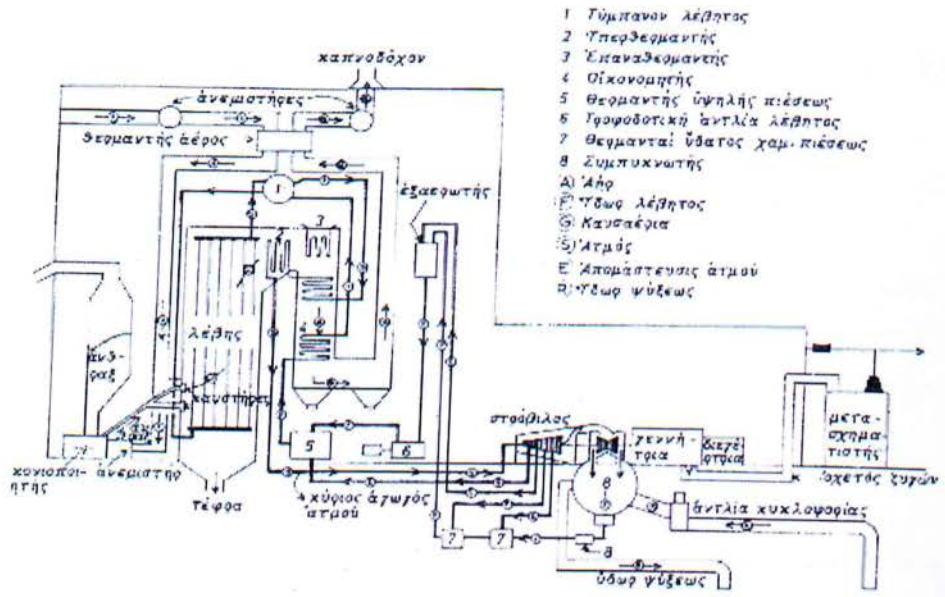
Η καύση άνθρακα, πετρελαίου ή αερίου προκαλεί κάποια ρύπανση της ατμόσφαιρας. Και τα τρία εκλύουν οξείδια του αζώτου και το κάρβουνο και το πετρέλαιο οξείδια του θείου. Το κάρβουνο εκλύει επίσης ορισμένα σωματίδια. Οι μεταφορές του καυσίμου ανάλογα με το είδος του και τον τόπο προμήθειας του επηρεάζουν επίσης την επιλογή της θέσης του σταθμού. Στα (σχήματα 3.88, 3.89, 3.90, 3.91, 3.92 και 3.93) παρατίθενται διατάξεις ατμοηλεκτρικών σταθμών.



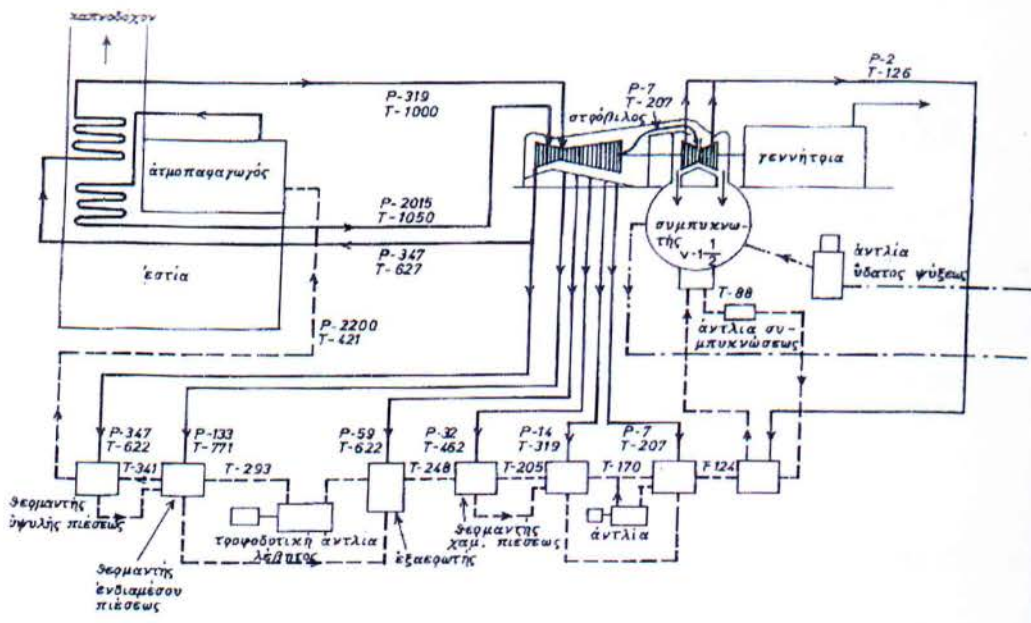
Σχήμα 3.88. Βασικός εξοπλισμός εγκαταστάσεως μετατροπής καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια με ατμοποίηση ύδατος



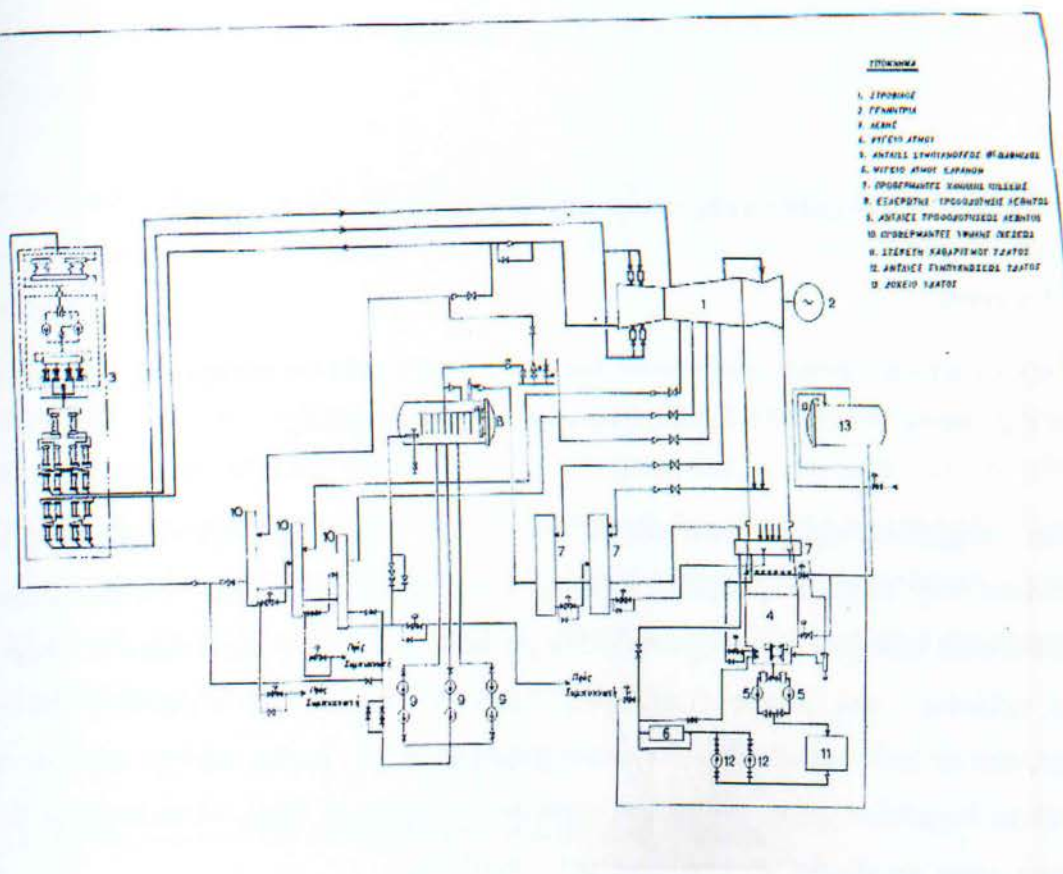
Σχήμα 3.89. Σχηματική διάταξη εγκαταστάσεως ατμού-ύδατος ατμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής



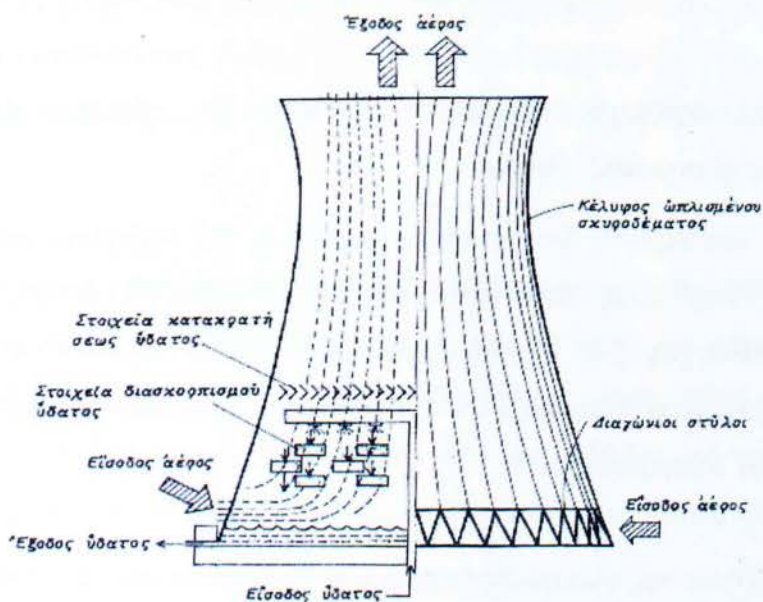
Σχήμα 3.90. Φυσική διάταξη κύριου εξοπλισμού και κυκλωμάτων ύδατος-καυσαερίων τυπικού ατμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής



Σχήμα 3.91. Ενδεικτικές θερμοκρασίες και πιέσεις ατμού-ύδατος ατμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής ισχύος 150-800 MW (Πίεση p σε lbs/in² θερμοκρασία: T σε °F, Κενό: V σε in. Hg)



Σχήμα 3.92. Διάγραμμα κυκλωμάτων λιγνιτικής μονάδος παραγωγής 300 MW



Σχήμα 3.93. Πύργος ψύξεως κυκλοφορίας αέρα θερμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής

3.11. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς αντιδραστήρες

3.11.1. Γενικά

Η βασική διαφορά μεταξύ συμβατικών και πυρηνικών σταθμών παραγωγής έγκειται στον τρόπο παραγωγής του ατμού ο οποίος κινεί τους ατμοστρόβιλους.

Σε έναν συμβατικό σταθμό αυτό γίνεται -όπως είναι γνωστό- με την καύση άνθρακα ή πετρελαίου στην εστία ενός ατμοπαραγωγού. Στον πυρηνικό σταθμό ο ατμοπαραγωγός αντικαθίσταται από έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. Στον πυρηνικό αντιδραστήρα η ενέργεια η οποία εκλύεται υπό μορφή θερμότητας κατά τη σχέση του πυρηνικού καυσίμου μεταφέρεται σε ένα ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται για να παράγει ατμό σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, ή σε μια σε μια περίπτωση ψύξεως με ύδωρ, είναι δυνατόν το ίδιο ψυκτικό μέσο να αφηθεί να ατομοποιηθεί απευθείας.

Οι εφαρμοζόμενες αρχές λειτουργίας και οι διάφοροι τύποι αντιδραστήρων περιγράφονται με συντομία στη συνέχεια.

3.11.2. Επιπτώσεις εισαγωγής πυρηνικών σταθμών στο σύστημα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Οι τεχνικές και οικονομικές δυνατότητες αναπτύξεως της ενέργειας είναι μεγάλες σε σύγκριση με τις δυνατότητες άλλων πηγών ενέργειας. Από άποψη κόστους είναι σαφές σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες ότι η ένταξη πυρηνικών μονάδων στο σύστημα παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού κόστους της ενέργειας του συστήματος.

Το πραγματικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει και τις δαπάνες μεταφοράς, ενώ όσον αφορά τις τελευταίες, οι πυρηνικοί σταθμοί πλεονεκτούν λόγω της ευκαμψίας των σύγχρονων αντιδραστήρων, οι οποίοι είναι δυνατό να εγκατασταθούν κοντά σε κέντρα καταναλώσεως μειώνοντας έτσι τα μήκη των γραμμών μεταφοράς. Επιπλέον, αυτή η

δυνατότητα εγκαταστάσεως των πυρηνικών σταθμών δεν προϋποθέτει μεγάλες μεταφορές καυσίμου.

Τεχνικές επιπτώσεις από την εισαγωγή πυρηνικών σταθμών στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα υπάρξουν μάλλον από το σύστημα προς τους σταθμούς παρά το αντίστροφο.

Ο πυρηνικός σταθμός πρέπει να είναι ικανός να προσαρμοστεί προς τις απαιτήσεις λειτουργίας του συστήματος. Οι κοινωνικές επιπτώσεις και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον πρέπει επίσης σε κάθε περίπτωση να λαμβάνονται υπ' όψη, Αναφέρεται σχετικά ότι μεταξύ των πλεονεκτημάτων της πυρηνικής ενέργειας είναι η απαλλαγή από δηλητηριώδεις καπνούς και ρύπανση και οι δυνατότητες καλής αρχιτεκτονικής με την έλλειψη καπνοδόχων και εγκαταστάσεων μεταφοράς και αποθηκεύσεως καυσίμου.

3.11.3. Τύποι αντιδραστήρων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες είναι εγκαταστάσεις μέσα στις οποίες τα άτομα του σχάσιμου υλικού του χρησιμοποιούμενου σαν πυρηνικό καύσιμο αποσυντίθεται με βομβαρδισμό νετρονίων σε μια αυτοσυντηρούμενη αλυσωτή αντίδραση κατά την οποία εκλύεται ενέργεια. Οι αντιδραστήρες διακρίνονται σε **θερμικούς**, **επιθερμικούς** (ημιταχείς) και **ταχείς**, ανάλογα με το αν η σχάση προκαλείται κυρίως από νετρόνια με ενέργεια $<0,5 \text{ eV}$, $0,5 \text{ eV}$ μέχρι $0,1 \text{ MeV}$ ή $>0,01 \text{ MeV}$. Οι περιοχές ενέργειας των νετρονίων των αντιδραστήρων μερικές φορές επικαλύπτονται.

Η αρχική ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας ήταν σχετική με τις πολεμικές χρήσεις και οι κατευθύνσεις τις οποίες ακολούθησε η ανάπτυξη του αντιδραστήρα παραγωγής ενέργειας στις διάφορες μεγάλες "πυρηνικές" χώρες αποτελούσαν σε μεγάλο βαθμό προέκταση αυτής της πείρας. Για το λόγο αυτόν αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι και τεχνικές, οι οποίες απέβλεπαν όμως σε κοινό σκοπό, δηλαδή την ασφαλή παραγωγή φθηνής πυρηνικής ενέργειας.

Κατά την απορρόφηση βραδέων νετρονίων, ο πυρήνας του ουρανίου -235 υφίσταται ως επί το πλείστον "σχάση" σε δύο τμήματα με υψηλή κινητική ενέργεια. Κατά τη διεργασία αυτή

εκπέμπονται κατά μέσο όρο 2 ή 3 νετρόνια. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της αντιδράσεως αυτής είναι:

- Έκλυση μεγάλης κινητικής ενέργειας (περί τα 200 MeV ανά σχάση, σε σύγκριση με λίγα eV που εκλύονται κατά μία συνήθη χημική αντίδραση).
- Δυνατότητα αυτοσυντηρούμενης ("αλυσωτής") αντιδράσεως, η οποία οφείλεται σε πλεόνασμα νετρονίων μη απορροφούμενων, ή μη διαρρεόντων από το σύστημα κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Η μάζα των προϊόντων της σχάσεως ισούται περίπου με την αρχική μάζα του καυσίμου. Ένας τόνος περίπου "κατάλοιπων" σχάσεως, παράγεται ετήσια από πυρηνικό σταθμό ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 1000 MW.

Στους αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων χρησιμοποιούνται νετρόνια ταχύτητας συγκρίσιμης με την ταχύτητα των νετρονίων των εκλυόμενων κατά την αντίδραση της σχάσεως. Στους αντιδραστήρες σχάσεως δια θερμικών νετρονίων στους οποίους έχει γίνει και περισσότερη εργασία, τα νετρόνια της σχάσεως επιβραδύνονται από ένα "επιβραδυντή", πριν εισέλθουν, πάλι στο καύσιμο.

Στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται ως επιβραδυντής ελαφρό ύδωρ στους αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος ("Boiling water reactors") και πεπιεσμένου ύδατος ("Pressurized water reactors") ενώ στους καναδικούς αντιδραστήρες "CANDU" εφαρμόζεται, επιβράδυνση με "βαρύ ύδωρ".

Στη Βρετανία εξάλλου, η προσπάθεια έχει κυρίως συγκεντρωθεί στην επιβράδυνση με γραφίτη στους αντιδραστήρες "MAGNOX" και "AGR", αλλά τελευταία χρησιμοποιείται επιβράδυνση με βαρύ ύδωρ, όμοια με την χρησιμοποιούμενη στον Καναδά.

Στους αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος το ύδωρ θερμαίνεται μέσα στον αντιδραστήρα και ο δημιουργούμενος ατμός διοχετεύεται απευθείας στο στρόβιλο. Ο ατμός στη συνέχεια συμπυκνώνεται και επιστρέφει στον αντιδραστήρα. Στους αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος εξ άλλου, το δοχείο του αντιδραστήρα διατηρείται υπό πίεση $15,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ περίπου και η θερμοκρασία του επιβραδυντή παραμένει περί τους 315°C .

Σε αυτήν τη θερμοκρασία και πίεση το νερό δεν φθάνει στο σημείο βρασμού, οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας και κατόπιν επιστρέφει πάλι στον αντιδραστήρα. Η δευτερεύουσα πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας διατηρείται σε χαμηλότερη πίεση περίπου $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ και χρησιμοποιείται για να ανυψώνει ατμό στους 260°C για την τροφοδοσία του στροβίλου.

Στον αντιδραστήρα CANDU, το βαρύ ύδωρ που χρησιμοποιείται ως επιβραδυντής, διατηρείται ασυμπιεστο σε μια δεξαμενή και το πυρηνικό καύσιμο περιέχεται σε σωλήνες που περνούν τη δεξαμενή. Οι σωλήνες χρησιμοποιούνται επίσης σαν αγωγοί του ψυκτικού του αντιδραστήρα (επίσης βαρύ ύδωρ) το οποίο λόγω συμπίεσεως δεν βρίσκεται σε κατάσταση βρασμού. Στον αντιδραστήρα CANDU χρησιμοποιείται συμβατικός εναλλάκτης θερμότητας για την ύψωση της θερμοκρασίας του ατμού. Το πλεονέκτημα του βαρέος ύδατος είναι ότι χρειάζεται ψυκτική διατομή $1/500$ περίπου εκείνης του ελαφρού.

Ένας άλλος αντιδραστήρας θερμότητας είναι ο "αερίοψυκτος αντιδραστήρας υψηλής θερμοκρασίας" (High temperature gas-cooled reactor). Στον αντιδραστήρα αυτόν ο πυρήνας ψύχεται από ήλιο υψηλής πίεσεως (περί τα $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$).

Ενώ το ήλιο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο στους αερίοψυκτους αντιδραστήρες, στις Η.Π.Α. και σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες, άλλοι αερίοψυκτοι αντιδραστήρες, όπως ο αντιδραστήρας MAGNOX και ο AGR στη Βρετανία, χρησιμοποιούν πεπιεσμένο CO_2 σαν ψυκτικό μέσο.

Όσον αφορά το δοχείο υψηλής πίεσεως, η τρέχουσα τεχνική χρησιμοποιεί δοχείο από προεντεταμένο σκυρόδεμα το οποίο στεγάζει και τον πυρήνα του αντιδραστήρα και τη γεννήτρια ατμού. Στους αερίοψυκτους αντιδραστήρες υψηλής θερμοκρασίας ο γραφίτης χρησιμοποιείται για δύο σκοπούς, δηλαδή σαν επιβραδυντής και σαν δομικό υλικό του "πυρήνα" του αντιδραστήρα, το δε καύσιμο το χρησιμοποιούμενο στους αντιδραστήρες αυτούς είναι ένα μίγμα οξειδίου του θορίου και εμπλουτισμένου ουρανίου 235.

Ένας τύπος αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων είναι ο αναπαραγωγικός **αντιδραστήρας υγρού μετάλλου** "Liquid-Metal Fast-Breeder reactor".

Στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες γενικά λαμβάνουν χώρα δυο διαδικασίες:

α) η έκλυση θερμότητας προς παραγωγή ατμού και

εκπέμπονται κατά μέσο όρο 2 ή 3 νετρόνια. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της αντιδράσεως αυτής είναι:

- Έκλυση μεγάλης κινητικής ενέργειας (περί τα 200 MeV ανά σχάση, σε σύγκριση με λίγα eV που εκλύονται κατά μία συνήθη χημική αντίδραση).
- Δυνατότητα αυτοσυντηρούμενης ("αλυσωτής") αντιδράσεως, η οποία οφείλεται σε πλεόνασμα νετρονίων μη απορροφούμενων, ή μη διαρρεόντων από το σύστημα κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Η μάζα των προϊόντων της σχάσεως ισούται περίπου με την αρχική μάζα του καυσίμου. Ένας τόνος περίπου "κατάλοιπων" σχάσεως, παράγεται ετήσια από πυρηνικό σταθμό ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 1000 MW.

Στους αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων χρησιμοποιούνται νετρόνια ταχύτητας συγκρίσιμης με την ταχύτητα των νετρονίων των εκλύομενων κατά την αντίδραση της σχάσεως. Στους αντιδραστήρες σχάσεως δια θερμικών νετρονίων στους οποίους έχει γίνει και περισσότερη εργασία, τα νετρόνια της σχάσεως επιβραδύνονται από ένα "επιβραδυντή", πριν εισέλθουν πάλι στο καύσιμο.

Στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται ως επιβραδυντής ελαφρό ύδωρ στους αντιδραστήρες **ζέοντος ύδατος** ("Boiling water reactors") και πεπιεσμένου ύδατος ("Pressurized water reactors"), ενώ στους καναδικούς αντιδραστήρες "CANDU" εφαρμόζεται, επιβράδυνση με "βαρύ ύδωρ".

Στη Βρετανία εξάλλου, η προσπάθεια έχει κυρίως συγκεντρωθεί στην επιβράδυνση με γραφίτη στους αντιδραστήρες "MAGNOX" και "AGR", αλλά τελευταία χρησιμοποιείται επιβράδυνση με βαρύ ύδωρ, όμοια με την χρησιμοποιούμενη στον Καναδά.

Στους αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος το ύδωρ θερμαίνεται μέσα στον αντιδραστήρα και ο δημιουργούμενος ατμός διοχετεύεται απευθείας στο στρόβιλο. Ο ατμός στη συνέχεια συμπυκνώνεται και επιστρέφει στον αντιδραστήρα. Στους αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος εξ άλλου, το δοχείο του αντιδραστήρα διατηρείται υπό πίεση $15,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ περίπου και η θερμοκρασία του επιβραδυντή παραμένει περί τους 315°C .

Σε αυτήν τη θερμοκρασία και πίεση το νερό δεν φθάνει στο σημείο βρασμού, οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας και κατόπιν επιστρέφει πάλι στον αντιδραστήρα. Η δευτερεύουσα πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας διατηρείται σε χαμηλότερη πίεση περίπου $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ και χρησιμοποιείται για να ανυψώνει ατμό στους 260°C για την τροφοδοσία του στροβίλου.

Στον αντιδραστήρα CANDU, το βαρύ ύδωρ που χρησιμοποιείται ως επιβραδυντής, διατηρείται ασυμπίεστο σε μια δεξαμενή και το πυρηνικό καύσιμο περιέχεται σε σωλήνες που περνούν τη δεξαμενή. Οι σωλήνες χρησιμοποιούνται επίσης σαν αγωγοί του ψυκτικού του αντιδραστήρα (επίσης βαρύ ύδωρ) το οποίο λόγω συμπίεσεως δεν βρίσκεται σε κατάσταση βρασμού. Στον αντιδραστήρα CANDU χρησιμοποιείται συμβατικός εναλλάκτης θερμότητας για την ύψωση της θερμοκρασίας του ατμού. Το πλεονέκτημα του βαρέος ύδατος είναι ότι χρειάζεται ψυκτική διατομή 1/500 περίπου εκείνης του ελαφρού.

Ένας άλλος αντιδραστήρας θερμότητας είναι ο "αερίοψυκτος αντιδραστήρας υψηλής θερμοκρασίας" (High temperature gas-cooled reactor). Στον αντιδραστήρα αυτόν ο πυρήνας ψύχεται από ήλιο υψηλής πίεσεως (περί τα $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$).

Ενώ το ήλιο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο στους αερίοψυκτους αντιδραστήρες, στις Η.Π.Α. και σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες, άλλοι αερίοψυκτοι αντιδραστήρες, όπως ο αντιδραστήρας MAGNOX και ο AGR στη Βρετανία, χρησιμοποιούν πεπιεσμένο CO_2 σαν ψυκτικό μέσο.

Όσον αφορά το δοχείο υψηλής πίεσεως, η τρέχουσα τεχνική χρησιμοποιεί δοχείο από προεντεταμένο σκυρόδεμα το οποίο στεγάζει και τον πυρήνα του αντιδραστήρα και τη γεννήτρια ατμού. Στους αερίοψυκτους αντιδραστήρες υψηλής θερμοκρασίας ο γραφίτης χρησιμοποιείται για δύο σκοπούς, δηλαδή σαν επιβραδυντής και σαν δομικό υλικό του "πυρήνα" του αντιδραστήρα, το δε καύσιμο το χρησιμοποιούμενο στους αντιδραστήρες αυτούς είναι ένα μίγμα οξειδίου του θορίου και εμπλουτισμένου ουρανίου 235.

Ενας τύπος αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων είναι ο αναπαραγωγικός **αντιδραστήρας υγρού μετάλλου** "Liquid-Metal Fast-Breeder reactor".

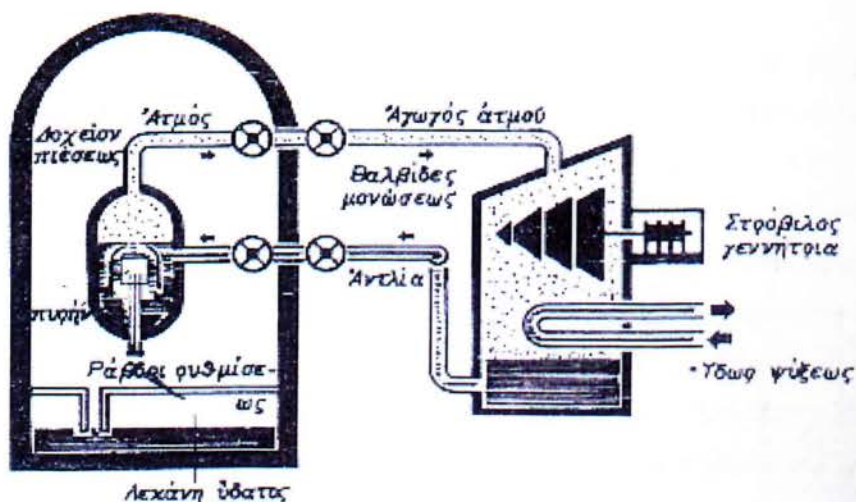
Στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες γενικά λαμβάνουν χώρα δυο διαδικασίες:

α) η έκλυση θερμότητας προς παραγωγή ατμού και

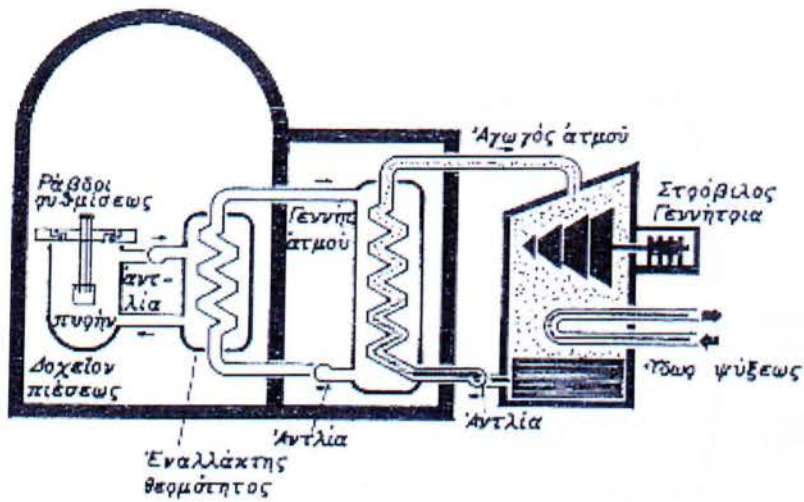
β) η αναπαραγωγή ενός σχάσιμου προϊόντος (πλουτόνιο), σε ρυθμό ταχύτερο από την κατανάλωση ενός άλλου σχάσιμου υλικού (ουράνιο). Το δεύτερο αυτό χαρακτηριστικό είναι δυνατόν να εκτιμηθεί καλύτερα ποσοτικά με τη σχέση "σχέση επωάσεως", δηλαδή το λόγο του παραγόμενου προς το καταναλισκόμενο υλικό.

Ένα άλλο μέρος της αποδοτικότητας της αναπαραγωγής είναι " ο χρόνος διπλασιασμού" – δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να παραχθεί ποσό καυσίμου ίσο με εκείνο το οποίο καταναλώθηκε. Χρόνος διπλασιασμού 5 ετών περίπου (ο οποίος αντιστοιχεί σε σχέση επωάσεως περί το 1.2) απαιτείται για να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση παραγωγής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχή ελάττωση των οικονομικώς βιώσιμων πηγών ουρανίου των χρησιμοποιούμενων στους πυρηνικούς αντιδραστήρες του παρόντος.

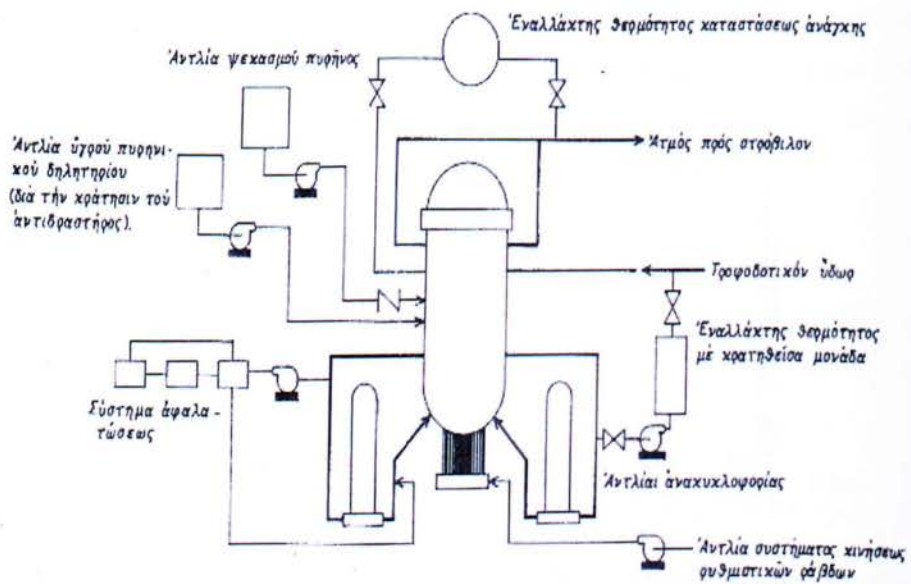
Η παραγωγή επιπλέον καυσίμου στον αναπαραγωγικό αντιδραστήρα ταχείων νετρονίων επιτυγχάνεται περιβάλλοντας τον πυρήνα του αντιδραστήρα με έναν χιτώνα "επωάσιμου" υλικού. Καθώς η αλυσωτή αντίδραση λαμβάνει χώρα μέσα στον πυρήνα του αντιδραστήρα, ο χιτώνας βομβαρδίζεται με ταχεία νετρόνια, τα οποία θα διέφευγαν από τον πυρήνα και τμήμα αυτού μετατρέπεται σε σχάσιμο υλικό. Συνήθως πλουτόνιο -239 χρησιμοποιείται ως καύσιμο μέσα στον πυρήνα, ενώ το υλικό του καλύμματος ουράνιο-238 μετασχηματίζεται σε πλουτόνιο-239. Για την ψύξη του αντιδραστήρα χρησιμοποιείται υγρό νάτριο. Στα σχήματα 3.94 έως 3.102 δίνονται διάφορες διατάξεις πυρηνικών σταθμών.



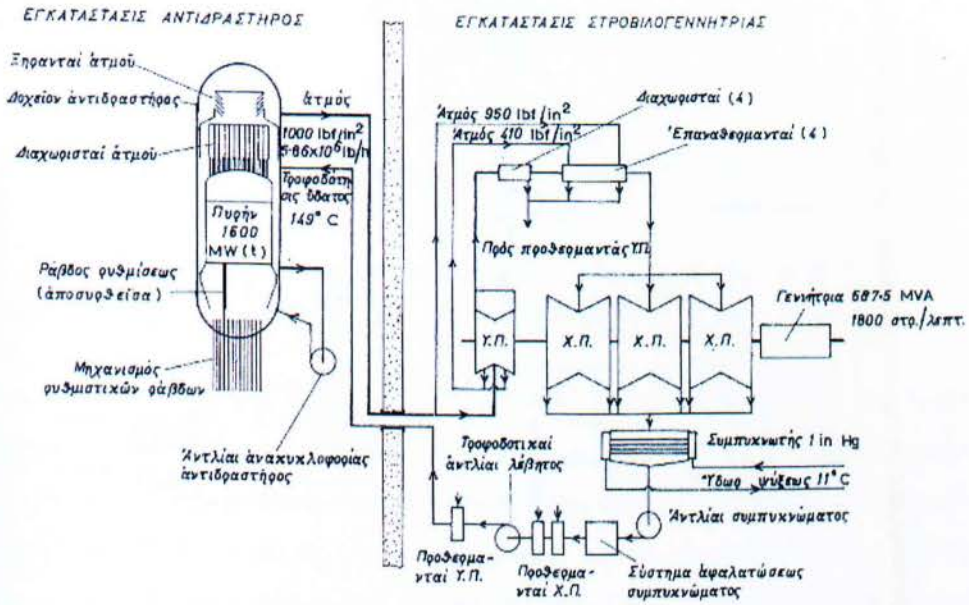
Σχήμα 3.94. Διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αντιδραστήρα ζέοντος ύδατος



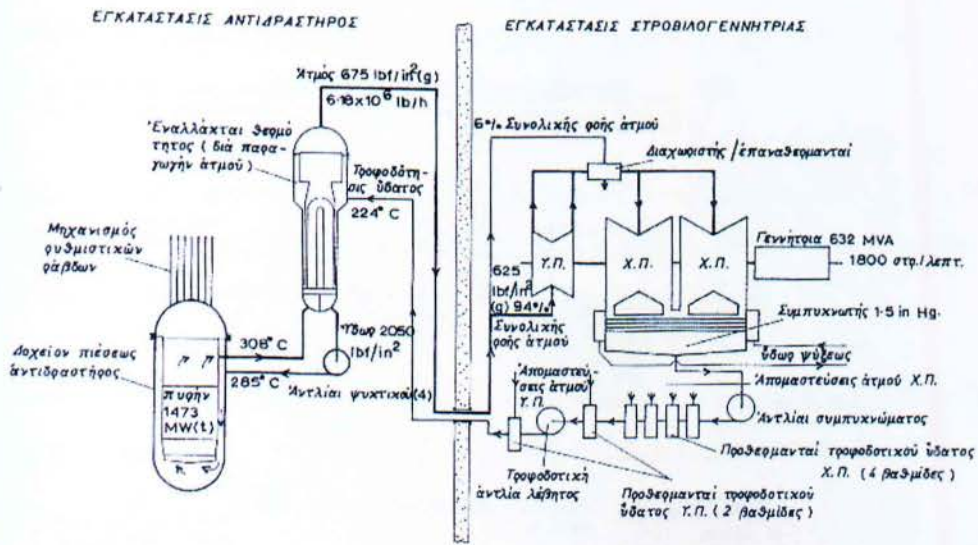
Σχήμα 3.97. Διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αναπαραγωγικό αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων ψυχόμενο με υγρό μέταλλο



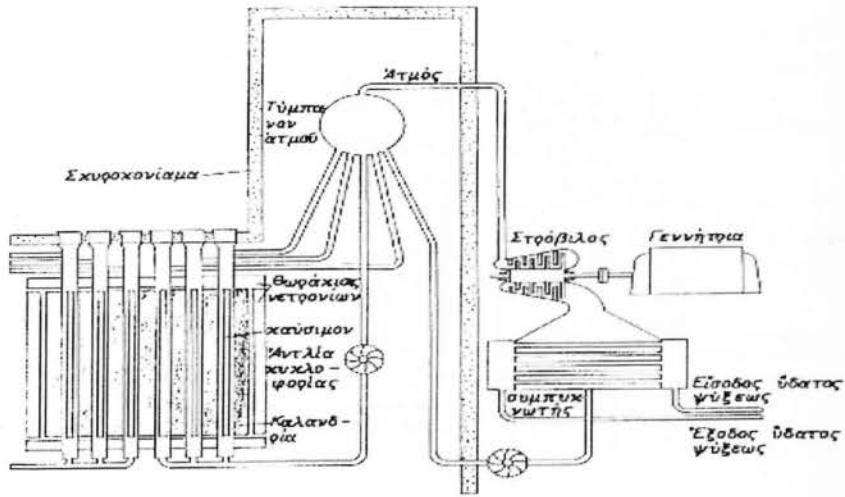
Σχήμα 3.98. Πυρηνικό σύστημα ατμού με αντιδραστήρα ζέοντος ύδατος



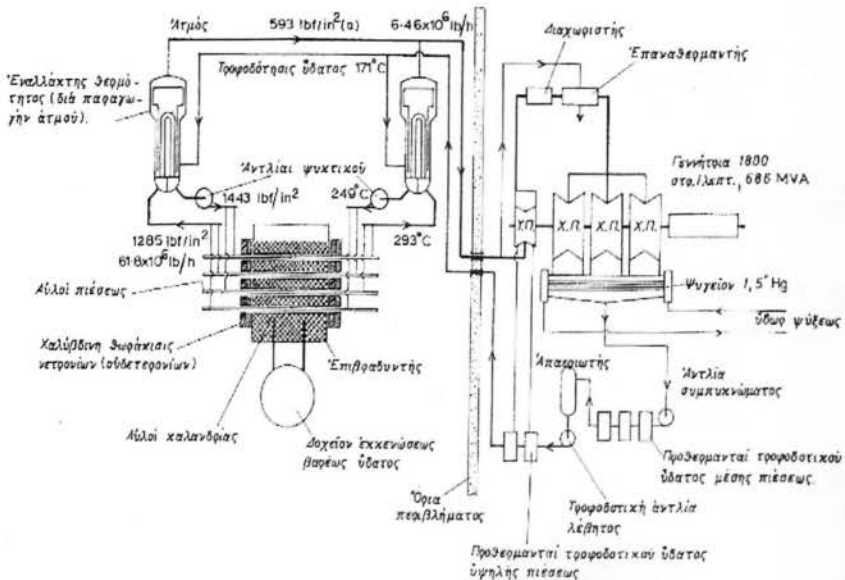
Σχήμα 3.99. Διάταξη πυρηνικού σταθμού 515 MW με ατμοπαραγωγό αντιδραστήρα ζέοντος ύδατος



Σχήμα 3.100. Διάταξη πυρηνικού σταθμού 463MW με αντιδραστήρα πιεσμένου ύδατος



Σχήμα 3.101. Διάταξη πυρηνικού σταθμού με αντιδραστήρα βαρέος ύδατος



Σχήμα 3.102. Διάταξη πυρηνικού σταθμού 500 MW με αντιδραστήρα βαρέος ύδατος συστήματος

CANDU

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΡΥΠΩΝ”

4.1.Εισαγωγή

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται, η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε επίπεδα που μπορεί να δημιουργήσουν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση έχει επικρατήσει να λέγεται ότι έχουμε «Νέφος». Το «Νέφος» παρουσιάζεται με δύο μορφές:

Νέφος καπνομίχλης, σχηματίζεται όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως μονοξειδίου του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.

Φωτοχημικό νέφος, παρουσιάζεται όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια σε ένταση και διάρκεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, και δευτερογενών προϊόντων τους.

Για να αντιμετωπίσουμε αποτελεσματικά το πρόβλημα του νέφους πρέπει να γνωρίζουμε, πως δημιουργείται, από τι αποτελείται, τι επιδράσεις δημιουργεί στο περιβάλλον, και τι μπορούν να κάνουν πολιτεία και κοινωνία για την καταπολέμησή του.

4.2. Ρύποι Θερμοηλεκτρικών Σταθμών

Το 90 με 95% του θείου των ορυκτών καυσίμων οξειδώνεται σε διοξείδιο του θείου και τριοξείδιο του θείου. Θείο επίσης περιέχει και η ιπτάμενη τέφρα, σε ποσότητα ανάλογη μίτο είδος του καυσίμου και της εγκαταστάσεως.

Ο σχηματισμός οξειδίων αζώτου εξαρτάται από τη θερμοκρασία της φλόγας καύσεως της εστίας, τη σχέση καυσίμου-αέρα, την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άζωτο και τη διαμόρφωση του χώρου του καυστήρα.

Η εκπομπή σωματιδίων είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε τέφρα του καυσίμου και του τρόπου καύσης. Εκτός από τα πρωτογενή αυτά στοιχεία της ρύπανσης ο συνδυασμός οξειδίων του αζώτου με άκαυστους υδρογονάνθρακες σχηματίζει, υπό κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες, δευτερογενή στοιχεία ρύπανσης καλούμενα **φωτοχημική καπνομίχλη**.

Εγκαταστάσεις αφαιρέσεως του διοξειδίου του θείου βρίσκονται σε διάφορα στάδια αναπτύξεως. Ο έλεγχος των οξειδίων αζώτου απαιτεί τροποποίηση των εστιών και θαλάμων καύσεως και περιορίζεται από την πιθανότητα αύξησης της εκπομπής σωματιδίων και μείωση της θερμικής απόδοσης. Η μείωση της εκπομπής σωματιδίων επιτυγχάνεται με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

4.2.1. Κύριοι ρύποι περιγραφή και επιδράσεις

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Αέριο, άοσμο και άχρωμο, εκπέμπεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης.

Επιδράσεις

Μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα. Χαμηλές συγκεντρώσεις του επηρεάζουν δυσμενώς άτομα με καρδιακά προβλήματα και μειώνουν τις σωματικές επιδόσεις νεαρών και υγιών ατόμων. Υψηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούν συμπτώματα όπως ζαλάδα, πονοκεφάλους και κόπωση.

Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Είναι αέριο με καφεκίτρινο χρώμα και ιδιαίζουσα οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές.

Πηγές στο περιβάλλον

Η χρήση καυσίμων κυρίως σε αυτοκίνητα αλλά και σε βιομηχανικούς καυστήρες ή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής παράγει μονοξείδιο του αζώτου. Αυτό με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου.

Επιδράσεις

Σημαντικός ρύπος για τη δημιουργία όξινης βροχής. Σε υψηλές συγκεντρώσεις βλάπτει ανθρώπους και βλάστηση. Στα παιδιά μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές ασθένειες. Στους ασθματικούς προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή.

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Άχρωμο, αέριο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

Πηγές στο περιβάλλον

Εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, βιομηχανίες, κεντρικές θερμάνσεις, διυλιστήρια πετρελαίου, χημικές βιομηχανίες, χαρτοβιομηχανίες.

Επιδράσεις

Επηρεάζει άτομα με αναπνευστικά προβλήματα από μόνο του ή ως συνέργεια με τα σωματίδια και προκαλεί αλλοιώσεις σε βλάστηση και μέταλλα. Μειώνει την ορατότητα και αυξάνει την οξύτητα λιμνών και ποταμών.

Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂)

Είναι αέριο άχρωμο και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι και άοσμο. Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας η πυκνότητα του είναι 1,98 kg/m³, είναι δηλ. 1,5 φορά πυκνότερο του αέρα. Σε 1 Atm (δηλ. σε πίεση στο επίπεδο της θάλασσας), μετατρέπεται απευθείας σε στερεό, σε θερμοκρασίες κάτω από -78.51 °C και, αν είναι σε στερεή μορφή, εξαχνώνεται πάνω από τους -78.51 °C. Στη στερεή του κατάσταση, το διοξείδιο του άνθρακα, είναι γνωστό ως "ξηρός πάγος". Η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι 31.1 °C και επομένως υγροποιείται εύκολα στη συνηθισμένη θερμοκρασία αλλά μόνο με συμπίεση (7.38 MPa). Είναι λίγο διαλυτό στο νερό, η διαλυτότητά του όμως αυξάνεται, όπως όλων των αερίων, με την πίεση. Νερό κορεσμένο από CO₂ με πίεση λέγεται "νερό του Seltz". Το τριπλό σημείο του διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου 518 kPa στους -56.6 °C

Πηγές στο περιβάλλον

Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου κλπ.), αλλά και του ξύλου, πλαστικών κ.ά. οργανικών ενώσεων.

4.2.2. Τρόποι μείωσης εκπομπών ρύπων

Ο τομέας της ενέργειας μπορεί να συμβάλει σε μείωση των εκπομπών βλαβερών ρύπων. Σημαντικοί συντελεστές εδώ είναι ορισμένοι στόχοι που έχουν τεθεί και αφορούν κυρίως την παραγωγή ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (12% και 21% αντιστοίχως από σήμερα μέχρι το 2010) ή τα βιοκαύσιμα. Η στρατηγική προβλέπει ενδεχόμενη επέκταση της οδηγίας IPPC (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης) και της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στις μικρές εγκαταστάσεις καύσης. Η στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μία από τις επτά θεματικές στρατηγικές που προβλέπονται στο έκτο πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον το οποίο εγκρίθηκε το 2002, και είναι η πρώτη από τις στρατηγικές αυτές που εγκρίνεται επίσημα από την Επιτροπή.

Η στρατηγική αυτή είναι προϊόν ερευνών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος Καθαρός αέρας για την Ευρώπη () (Clean Air For Europe - CAFE) και των διαδοχικών προγραμμάτων πλαισίων έρευνας, και εγκρίθηκε μετά από μακρά διαδικασία

διαβουλεύσεων στην οποία κυρίως συμμετείχαν το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, μη κυβερνητικές οργανώσεις, η βιομηχανία και ιδιώτες.

4.2.2.1 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου τα τελευταία χρόνια οδήγησε σε μια νομική δέσμευση των αναπτυγμένων χωρών για μείωση των εκπομπών αερίων, το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012) τουλάχιστον κατά 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια) και κατά παραπάνω για συγκεκριμένες χώρες (7% για τις Η.Π.Α. και 8% για την Ε.Ε.) ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν ποσοτικοποιημένους στόχους.

Αυτό επιχειρείται να γίνει με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

την Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΔΕ)

τα Προγράμματα από Κοινού (ΠΚ)

το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης (ΜΚΑ)

Ο πρώτος μηχανισμός προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (χωρών) για να επιτύχουν τις δεσμεύσεις του Κιότο. Αποτελεί εργαλείο της αγοράς που χρησιμοποιείται για την περιβαλλοντική προστασία ώστε να ενισχύσει την αποδοτικότητα της αγοράς αναφορικά με τη μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου.

Ένα βέλτιστο σύστημα ΕΔΕ ελαχιστοποιεί τα συνολικά κόστη συμμόρφωσης προς τις απαιτήσεις του Πρωτοκόλλου, εξασφαλίζοντας ότι οι μειώσεις των εκπομπών λαμβάνουν χώρα όπου τα οριακά κόστη ελαχιστοποιούνται. Επιτρέπει στις χώρες να συναλλάσσουν μέρος των δεσμεύσεων εκπομπών και να ανακατανέμουν πρακτικά τις επιτρεπόμενες εκπομπές μεταξύ τους. Αυτό γίνεται αγοράζοντας τα δικαιώματα εκπομπής αερίων του

θερμοκηπίου από άλλες χώρες του, που έχουν μειώσει τις εκπομπές τους κάτω από τις δεσμεύσεις τους. Επιτρέπει επίσης τη διακυβερνητική εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών.

Ο δεύτερος, τα Προγράμματα από Κοινού (ΠΚ), προβλέπει την πραγματοποίηση έργων από μια χώρα για μείωση των εκπομπών σε κάποια άλλη χώρα. Αυτές οι δράσεις δίνουν στην πρώτη χώρα Μονάδες Μείωσης Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (ΜΜΕ). Ο μηχανισμός αυτός όμως παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες όπως τη δημιουργία τεχνητών μειώσεων εκπομπών και γι αυτό προτιμάται συνήθως ο τρίτος μηχανισμός.

Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης προβλέπει την επένδυση από χώρες σε χώρες αναπτυσσόμενες για την πραγματοποίηση έργων μείωσης εκπομπών. Οι μονάδες μείωσης εκπομπών που προκύπτουν σε ένα έργο ΜΚΑ ονομάζονται Βεβαιωμένες Μειώσεις Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (ΒΜΕ). Όταν μια χώρα επενδύει σε έργα σε κάποια άλλη χώρα κερδίζει μονάδες ΒΜΕ, τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν για τη συμμόρφωση με τις δικές τους δεσμεύσεις.

Στόχος του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης είναι να βοηθήσει τα μη μέλη του να επιτύχουν βιώσιμη ανάπτυξη συμβάλλοντας ταυτόχρονα στο στόχο του Κιότο και βοηθάει τα μέλη του να συμμορφωθούν στα όρια εκπομπών με σημαντική μείωση του κόστους. Επίσης συμβάλλει στην προώθηση της χρήσης καθαρών τεχνολογιών στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Τα αέρια που πραγματεύεται το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι έξι:

διοξείδιο του άνθρακα CO₂[10] (που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο)

μεθάνιο CH₄

υποξείδιο του αζώτου N₂O

υδροφθοράνθρακες HFC

πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες PFC

εξαφθοριούχο θείο SF₆

Το Πρωτόκολλο του Κιότο δεν έχει επικυρωθεί από τις ΗΠΑ, αν και μια από τις προεκλογικές διακηρύξεις του νυν Προέδρου των Η.Π.Α. Μπαράκ Ομπάμα ήταν η επικύρωσή του. Επιπλέον, δεν προβλέπει δεσμεύσεις μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου για τις αναπτυσσόμενες χώρες, με κυριότερες την Κίνα και την Ινδία.

4.2.2.2. Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ένα από τα σημαντικότερα μέτρα που έχει λάβει η Ε.Ε. για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών είναι η υιοθέτηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο ενώ παράλληλα ενθαρρύνει τα κράτη μέλη να εφαρμόσουν τις πρωτοβουλίες σε εθνικό επίπεδο. Προκειμένου να επιτύχει τους στόχους μείωσης της εκπομπής αερίων που έχουν τεθεί από το Πρωτόκολλο του Κιότο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε σε εφαρμογή το Μάρτιο του 2000 το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Αλλαγή του Κλίματος (European Climate Change Program - ECCP).

Σύμφωνα με την Επιτροπή όλες οι χώρες, παγκοσμίως, θα πρέπει να προσπαθήσουν να επιτύχουν δύο στόχους. Πρώτον, να περιορίσουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στους δύο βαθμούς Κελσίου και δεύτερον, να μειώσουν τις βλαβερές για το περιβάλλον εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% ως το 2020 (σ.σ. σύμφωνα με επιστημονικές εκτιμήσεις αν δεν ληφθούν μέτρα, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί τον 21ο αιώνα κατά 5 βαθμούς Κελσίου).

Στο πλαίσιο του προγράμματος, η Επιτροπή συνεργάζεται με βιομηχανίες, περιβαλλοντικές οργανώσεις και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς, για να προσδιοριστούν μέτρα μείωσης των εκπομπών με χαμηλό κόστος. Περισσότερα από 30 μέτρα έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή. Μια θεμελιώδους σημασίας πολιτική της Ε.Ε. όσον αφορά την αλλαγή του κλίματος είναι το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε., που ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2005. Οι κυβερνήσεις της Ε.Ε. έχουν θέσει όρια στις ποσότητες CO₂, που μπορούν να εκπέμπουν ετησίως περίπου 10.500 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ενεργοβόρα εργοστάσια. Αυτές οι βιομηχανικές μονάδες ευθύνονται για σχεδόν το ήμισυ των εκπομπών CO₂ στην Ε.Ε.

Οι μονάδες, οι οποίες εκπέμπουν λιγότερο CO₂ από το επιτρεπόμενο, μπορούν να πωλήσουν τα αναξιοποίητα μερίδια εκπομπών σε άλλα εργοστάσια που δεν τα καταφέρνουν εξίσου καλά. Έτσι, υπάρχει και ένα οικονομικό κίνητρο να μειώσουν τις εκπομπές.

Επιπλέον, το σύστημα εξασφαλίζει ότι θα υπάρχουν αγοραστής για τα δικαιώματα εκπομπής, δηλαδή εταιρείες που υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών και θα ήταν υποχρεωμένες να καταβάλλουν υψηλά πρόστιμα, εάν δεν αγόραζαν δικαιώματα εκπομπών από άλλους. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών διασφαλίζει τη μείωση των

εκπομπών εκεί όπου αυτό είναι οικονομικά συμφέρον και περιορίζει το συνολικό κόστος μείωσης των εκπομπών.

Άλλα μέτρα στο πλαίσιο του ECCP αποσκοπούν στη βελτίωση της απόδοσης των καυσίμων των αυτοκινήτων και της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (η καλύτερη μόνωση μπορεί να μειώσει το κόστος θέρμανσης κατά 90%!), την αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η παλιρροϊκή, η βιομάζα (οργανικές ύλες, όπως ξύλο, υποπροϊόντα άλεσης, φυτά, ζωικά περιττώματα κ.λπ.) και η γεωθερμική ενέργεια (θέρμανση από τις θερμές πηγές ή τα ηφαιστεια), και τη μείωση των εκπομπών μεθανίου από τις χωματερές.

Η δεύτερη φάση του ECCP ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2005, με στόχο το σχεδιασμό περαιτέρω ανάπτυξης μέτρων μείωσης των εκπομπών με χαμηλό κόστος. Η φάση αυτή εστιάζει στην ανάπτυξη προτάσεων με σκοπό την ενίσχυση του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε., την αντιμετώπιση των εκπομπών των επιβατικών αεροπορικών και οδικών μεταφορών, την ανάπτυξη τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης του άνθρακα και το σχεδιασμό μέτρων προσαρμογής στις αναπόδραστες συνέπειες των κλιματικών μεταβολών.

Βάσει των εργασιών αυτών, η Επιτροπή πρότεινε πρόσφατα νόμους για την εισαγωγή των αεροπορικών εταιρειών στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε. και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα οδικά καύσιμα. Έχει επίσης ανακοινώσει ότι θα προωθήσει νομοθεσία για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα καινούρια αυτοκίνητα.

Συγκεκριμένα, για να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στους δύο βαθμούς Κελσίου η Επιτροπή πιστεύει πως θα πρέπει να γίνουν οι εξής προσπάθειες:

Να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως το 2020 κατά 30% παγκοσμίως και ως το 2050 οι εκπομπές άνθρακα θα πρέπει να μειωθούν κατά 50% (σ.σ. με έτος αναφοράς το 1990).

Η ΕΕ θα πρέπει να συνεχίσει τις αυτόνομες προσπάθειές της για μείωση των εκπομπών άνθρακα ως το 2020, τουλάχιστον κατά 20%.

Πέρα από τις αναπτυγμένες χώρες οι οποίες θα πρέπει να συνεχίσουν να στηρίζουν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας προσπάθειας για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, χρειάζεται δράση και από την πλευρά των αναπτυσσόμενων χωρών, οι οποίες θα πρέπει να αρχίσουν να περιορίζουν τις αυξανόμενες εκπομπές τους σε διοξείδιο του άνθρακα.

Να σταματήσει η αποψίλωση τροπικών δασών, στην οποία οφείλεται το 20% της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ποσοστό υψηλότερο από αυτό που προκαλεί ο τομέας των μεταφορών.

Η εφαρμογή ενός Σχεδίου Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες, όπως αυτό που εφαρμόζεται στην ΕΕ, θα βοηθήσει στην περαιτέρω μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Σε ό,τι αφορά τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ η Επιτροπή προτείνει τα εξής:

Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ΕΕ κατά 20% μέχρι το 2020

Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2020

Ενίσχυση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για τις βιομηχανίες

Περιορισμός των ρύπων που προέρχονται από τον τομέα των μεταφορών και κυρίως από τα ιδιωτικά Ι.Χ. και τις αεροπορικές εταιρείες

Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την καθημερινή χρήση ενέργειας που κάνουν τα νοικοκυριά, τα εμπορικά κτίρια κτλ.

Σημαντική αύξηση του ευρωπαϊκού προϋπολογισμού, μετά το 2013, για δράσεις που θα αφορούν το περιβάλλον, την ενέργεια και την έρευνα κυρίως στον τομέα των μεταφορών.

Δεδομένου ότι οι στόχοι του Κιότο εκπνέουν το 2012, η Ευρωπαϊκή Ένωση ασκεί πιέσεις για τη σύναψη νέας διεθνούς συμφωνίας, προκειμένου να διασφαλιστεί η αναχίτιση της παγκόσμιας θέρμανσης, πριν ξεπεράσει τους 2°C, σε σχέση με τα επίπεδα θερμοκρασίας της προ-βιομηχανικής εποχής.

Οι επιστήμονες θεωρούν τους 2°C ως το όριο, πέραν του οποίου, οι κλιματικές αλλαγές θα μπορούσαν να πυροδοτήσουν μη ανατρέψιμες και πιθανότατα καταστροφικές αλλαγές στον

πλανήτη. Έχοντας υπ' όψιν αυτό το όριο θερμοκρασίας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τον Ιανουάριο του 2007 μια στρατηγική για το κλίμα και την ενέργεια, η οποία συνίσταται σε μια σειρά φιλόδοξων στόχων και μέτρων, τα οποία επικυρώθηκαν από τους ηγέτες της Ε.Ε. δύο μήνες αργότερα.

Η Ε.Ε. έχει πλέον δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2020 και σε περαιτέρω μείωση έως το 30%, εφόσον και οι άλλες βιομηχανοποιημένες χώρες συμφωνήσουν να πράξουν το ίδιο και αναλάβουν δράση και οι αναπτυσσόμενες χώρες.

Για πετύχουν τη μείωση κατά 20% τουλάχιστον, τα ήδη υφιστάμενα μέτρα, όπως το Σύστημα ETS, θα πρέπει να συμπληρωθούν με νέα μέτρα, που θα αποσκοπούν ειδικά στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% έως το 2020, την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20% έως το 2020 και τον εξοπλισμό των νέων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.

4.2.2.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα πιο συγκεκριμένα είναι από τις ελάχιστες αναπτυγμένες χώρες που έχουν το δικαίωμα να αυξήσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο (+25%). Το 2005, είχε ήδη αυξήσει τις εκπομπές της κατά 28% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Τα επίσημα στοιχεία προβλέπουν αύξηση κατά 38,4% έως το 2010 και 58,4% έως το 2020. Μόλις το 3% της ηλεκτροπαραγωγής της χώρας καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Το 9% καλύπτεται από μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα και το υπόλοιπο 88% από ορυκτά καύσιμα με κυριότερο το λιγνίτη(55%). Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα (Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Μεγαλόπολη) θα εξαντληθούν μέσα στα επόμενα 30 χρόνια, ακόμα και αν συνεχίσουμε να τα εκμεταλλευόμαστε με τον ίδιο ρυθμό.

Τα τελευταία 40 χρόνια οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν κατά 10 – 30% στη χώρα μας και η μέση μέγιστη θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 8 βαθμούς Κελσίου έως το τέλος του αιώνα (από 33 σε 41 βαθμούς Κελσίου). Τέλος, οι πιο ευάλωτες περιοχές στις κλιματικές αλλαγές είναι οι Κυκλάδες, η Θεσσαλία, η Κρήτη και η Θεσσαλονίκη.

4.3. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή

Κατά την καύση όλων των ορυκτών καυσίμων παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμός σε ποσότητες που είναι άμεσες συναρτήσεις της περιεκτικότητας σε άνθρακα και υδρογόνο του καυσίμου που καταναλώνεται. Εάν το καύσιμο περιέχει θείο, θα παραχθεί μία αντίστοιχη ποσότητα διοξειδίου του θείου (SO₂). Επιπλέον, η διαδικασία της καύσης παράγει οξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂), των οποίων ο συνδυασμός γενικά είναι γνωστός ως οξείδια του αζώτου (NO_x).

Τα οξείδια αυτά δημιουργούνται από μια χημική αντίδραση μεταξύ των υφιστάμενων στον αέρα οξυγόνου και αζώτου υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας. Υπάρχουν τρεις κύριοι μηχανισμοί για το σχηματισμό τους:

- Θερμικά NO_x,
- NO_x του καυσίμου,
- Άμεσα NO_x.

Ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνουν χώρα αυτές οι διαφορετικές αντιδράσεις επηρεάζεται πολύ από τη διαδικασία της καύσης, με τη θερμοκρασία και το λόγο αέρα-καυσίμου να αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικούς παράγοντες.

Τα θερμικά NO_x είναι τα πιο σημαντικά και σχηματίζονται από την αντίδραση του αζώτου και του οξυγόνου στον αέρα της καύσης. Αυτή εκκινεί στην αρχική ζώνη της καύσης, αλλά κατά το μεγαλύτερο μέρος της λαμβάνει χώρα στη δευτερεύουσα ζώνη. Η θερμοκρασία επηρεάζει έντονα το σχηματισμό τους και η αντίδραση προχωρά πολύ γρήγορα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1.300°C. Τα NO_x του καυσίμου σχηματίζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (γύρω στους 700°C) και εμφανίζονται μέσα στη φλόγα μέσω της αντίδρασης με το χημικά δέσμιο άζωτο του καυσίμου. Ο τρίτος τύπος, τα άμεσα NO_x, είναι και ο λιγότερο σημαντικός. Αυτά σχηματίζονται λόγω της παρουσίας ελεύθερων ριζών υδρογονανθράκων στο μέτωπο της φλόγας.

Τα διαφορετικά καύσιμα έχουν και διαφορετικό αδρανιακό περιεχόμενο, επομένως καίγονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες φλόγας, γεγονός που έχει επίδραση στο σχηματισμό των NO_x . Ο άνθρακας και τα βαριά πετρελαϊκά έλαια δίνουν υψηλότερα επίπεδα εκπομπών NO_x σε σχέση με τα ελαφρότερα πετρελαϊκά καύσιμα και το φυσικό αέριο, και αυτό απεικονίζεται στην αντιρρυπαντική/περιβαλλοντική νομοθεσία που καθορίζει διαφορετικά όρια εκπομπών για τους διαφορετικούς τύπους καυσίμων (η νομοθεσία θέτει επίσης όρια στις εκπομπές CO_2). Η παρουσία αυτών των οξειδίων στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι έχει επιβλαβή αποτελέσματα και υπάρχει ένας γενικός στόχος ελαχιστοποίησης των εκπομπών NO_x από όλες τις εγκαταστάσεις καύσης, συμπεριλαμβανομένων και των μονάδων ΣΗΘ. Στον πίνακα 4.1 γίνεται μια σύνοψη των υφιστάμενων τεχνικών μείωσης των NO_x .

Πίνακας 4.1. Περίληψη των τεχνικών μείωσης των NO_x [Πηγή: ZREU]

	<i>Παλινδρομικές Μηχανές</i>	<i>Αεριοστροβίλοι</i>
Άνευ ορίων	<ul style="list-style-type: none"> • Στοιχειομετρικοί κινητήρες 	<ul style="list-style-type: none"> • Τυποποιημένοι στροβίλοι
TA-Air 500 mg/m ³ , 5% O ₂ και 150 mg/m ³ , 15% O ₂ αντίστοιχα	<ul style="list-style-type: none"> • Μηχανές φτωχού μείγματος και αυτομάτου ελέγχου -λ. • Στοιχειομετρικοί κινητήρες με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ξηροί καυστήρες χαμηλών NO_x • Ψεκασμός ατμού/νερού
Μισό TA-Air 250 mg/m ³ , 5% O ₂ και 75 mg/m ³ , 15% O ₂ αντίστοιχα	<ul style="list-style-type: none"> • Κινητήρες φτωχής καύσης με αισθητήρα λ και δίοδο καταλυτικό μετατροπέα. • Στοιχειομετρικοί κινητήρες με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ξηροί καυστήρες χαμηλών NO_x • Ψεκασμός ατμού/νερού
Ειδικές μετατροπές	<ul style="list-style-type: none"> • Επιλεκτική καταλυτική περιστολή (SCR) - εφαρμόζεται στο πλούσιο σε CO_2 περιβάλλον των θερμοκηπίων. 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιλεκτική καταλυτική περιστολή (SCR)

4.4. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα

Η χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή εμπεριέχει πολύπλοκα περιβαλλοντικά ζητήματα. Υπάρχει μια γενική ομολογία για τα παγκόσμια οφέλη από τη χρήση της βιομάζας (αέρια θερμοκηπίου), τα οποία όμως δεν έχουν δημοσιοποιηθεί επαρκώς και έτσι δεν έχουν γίνει κατανοητά στους λήπτες των αποφάσεων και το ευρύ κοινό. Το κλειδί για την επιτυχημένη ανάπτυξη της βιοισχύος είναι η αποδοτική χρήση της πηγής μεσύγχρονα συστήματα μετατροπής που μεγιστοποιούν την παραγόμενη ενέργεια και ελαχιστοποιούν τα υποπροϊόντα των διεργασιών μετατροπής.

4.4.1. Ποιότητα του αέρα

Η ηλεκτροπαραγωγή με χρήση βιομάζας ή ορυκτών καυσίμων παράγει αερολύματα, όπως διοξείδιο του θείου (SO₂), οξειδία του αζώτου (NO_x) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Η χρήση της βιο-ισχύος παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Μειωμένες εκπομπές θείου: Οι περισσότερες μορφές βιομάζας περιέχουν πολύ μικρά ποσά θείου, οπότε ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας εκπέμπει ελάχιστο διοξείδιο του θείου (SO₂), που είναι αίτιο της όξινης βροχής. Ο άνθρακας περιέχει συνήθως μέχρι 5% θείο και η σύγκαυση με βιομάζα μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές SO₂ του σταθμού σε σχέση με τη λειτουργία μόνο με άνθρακα. Υπάρχει μια σχέση περίπου ένα προς ένα μεταξύ της μείωσης του SO₂ και του ποσοστού της εισροής θερμότητας από βιομάζα (π.χ. η χρήση βιομάζας στο 5% της εισροής θερμότητας σε μία μονάδα ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα θα μειώσει τις εκπομπές SO₂ περίπου κατά 5%).
- Μειωμένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου: Πρόσφατα τεστ σύγκαυσης βιομάζας σε αρκετούς σταθμούς άνθρακα παγκοσμίως έχουν επιδείξει ότι οι εκπομπές των NO_x μπορούν να μειωθούν σε σχέση με τη λειτουργία μόνο με άνθρακα. Έτσι, με την προσεκτική ρύθμιση της διεργασίας της καύσης, η μείωση των NO_x είναι διπλάσια του λόγου της εισροής θερμότητας από βιομάζα, δηλαδή για σύγκαυση βιομάζας στο 5% της εισροής θερμότητας θα επιτευχθεί μείωση των NO_x της μονάδας κατά 10%. Εξάλλου, ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις στα NO_x μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση της βιομάζας σε διάταξη μετάκαυσης, όπου έως και το 20% του καυσίμου του λέβητα εγχύεται επάνω από την κύρια ζώνη καύσης.

- **Μειωμένες εκπομπές άνθρακα:** Τα φυτά κατά την ανάπτυξη τους απορροφούν CO₂. Όταν η παραγωγή της βιο-ισχύος αντιμετωπίζεται ως συνεχής κύκλος, π.χ. καλλιεργώντας ενεργειακά φυτά ή επαναφυτεύοντας αγροτεμάχια, αποτελεί έναν τρόπο ανακύκλωσης του άνθρακα. Έτσι, μπορεί η βιο-ισχύς να θεωρηθεί ως μία λύση ηλεκτροπαραγωγής που δεν διαταράσσει το ισοζύγιο του άνθρακα.
- **Μείωση άλλων εκπομπών:** Αέριο μεθάνιο (CH₄) παράγεται στις χωματερές από την αποσύνθεση υλικού βιομάζας, αλλά και από την αποσύνθεση της ζωικής κοπριάς, είτε αυτή επιστρέφεται στο έδαφος είτε αφήνεται ακάλυπτη σε στέρνες. Το μεθάνιο (το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου) εκτονώνεται συνήθως κατ' ευθείαν στον αέρα, αλλά μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- **Μειωμένες οσμές:** Η χρήση της ζωικής κοπριάς και του αερίου των χωματερών για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να μειώσει τις οσμές που συνδέονται με τις συμβατικές εφαρμογές απόρριψης ή εδάφους.

4.4.2 Ποιότητα των υδάτων

Η ζωική κοπριά περιέχει άζωτο, φώσφορο, κάλιο, χλώριο, και μικρά ποσά θείου, που μπορεί να μολύνουν το νερό. Κανονικά, η κοπριά χρησιμοποιείται ως λίπασμα ή χωνεύεται σε στέρνες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων. Και οι δύο αυτές εφαρμογές εδάφους μπορούν να προκαλέσουν τη διήθηση των παραπάνω ουσιών στα υπόγεια ύδατα ή την άμεση απόληξη τους σ' έναν υδροφόρο με την απορροή των όμβριων υδάτων. Η χρήση της ζωικής κοπριάς ως πηγής καυσίμου περιορίζει τη μόλυνση των υδάτων μειώνοντας την απορροή των ουσιών αυτών.

4.4.3 Χρήσεις των γαιών

Τα ξυλώδη υλικά και τα υπολείμματα των κήπων αποτελούν το 20% περίπου του συνολικού ποσού των μη βλαβερών αποβλήτων που οδηγούνται στις χωματερές. Ένα μέρος των υλικών αυτών είναι μολυσμένο και κατάλληλο μόνο για απόρριψη. Η χρήση των "καθαρών" αποβλήτων ως καύσιμο αποσπά μία ποσότητα από τα υλικά που απορρίπτονται στις χωματερές, επεκτείνοντας έτσι τη ζωή/χωρητικότητά τους. Αυτή η πρακτική επίσης εξαλείφει τις εκπομπές μεθανίου που θα προέρχονταν από την ενταφιασμένη βιομάζα.

Από την άλλη, οι ενεργειακές καλλιέργειες αναπτύσσονται σε υπο-αξιοποιούμενες γεωργικές εκτάσεις. Γενικά, δεν αντικαθιστούν βοσκότοπους, υδροβιότοπους, φυσικά δάση ή γεωργική γη υψηλής αξίας, ενώ απαιτούν λιγότερα παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες, μειώνοντας έτσι την απορροή χημικών στα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα. Τα συστήματα των ριζών συγκρατούν το χώμα και μειώνουν τη διάβρωση, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων, φιλτράρουν τα γεωργικά χημικά εμποδίζοντας τα να εισέλθουν στα ρυάκια, και ανακόπτουν τα θρεπτικά στοιχεία από το να εισέλθουν στα υπόγεια ύδατα.

4.5. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

Στα κύρια προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται οι αποθέσεις μετάλλων, οι μεταβολές στις υδρολογικές συνθήκες και η διάβρωση του εξοπλισμού. Προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν κατά το χειρισμό των γεωθερμικών αποβλήτων, τόσο του νερού όσο και του ατμού.

4.5.1. Αποθέσεις μετάλλων

Σε μερικά πεδία όπου επικρατεί το νερό μπορεί να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το ζέων γεωθερμικό ρευστό. Για παράδειγμα, η απόθεση πυριτίου στα φρέατα προκάλεσε προβλήματα στο πεδίο του Salton Sea (Καλιφόρνια). Συχνότερα, μπορεί να περιοριστεί η ανάπτυξη ενός πεδίου από το σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου στα φρέατα ή στα πετρώματα της περιοχής, όπως για παράδειγμα συνέβη στην Τουρκία και τις Φιλιππίνες. Τα πεδία με ζεστά νερά και υψηλά ολικά ανθρακικά άλατα τελευταία αντιμετωπίζονται με καχυποψία. Κατά την απόρριψη των θερμών υγρών αποβλήτων στην

επιφάνεια, η απόθεση πυριτίου στους αγωγούς και τους διαύλους του νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

4.5.2. Υδρολογικές αλλαγές

Η εκτεταμένη παραγωγή από τα φρέατα αλλάζει τις τοπικές υδρολογικές συνθήκες. Η ελάττωση της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκαλέσει βρασμό στο νερό των πετρωμάτων (που οδηγεί σε μεταβολές των χαρακτηριστικών του ρευστού της γεώτρησης), τη διείσδυση κρύου νερού από τις παρυφές του πεδίου, ή μεταβολές στη χημεία του νερού λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των αερίων. Μετά από την παρατεταμένη άντληση ζεστού νερού από πετρώματα μικρής αντοχής μπορεί να συμβεί τοπική γαιόχωση (μέχρι μερικά μέτρα) και να μειωθεί σε ένταση η αρχική φυσική θερμική δραστηριότητα. Κάποιες μεταβολές συμβαίνουν σε όλους τους τομείς και απαιτείται η καλή κατανόηση της γεωλογίας και της υδρολογίας ενός συστήματος προκειμένου να μπορέσει να συνταιριαστεί ο ρυθμός άντλησης της γεώτρησης με τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα αυτής να παρέχει ρευστό.

4.5.3. Διάβρωση

Τα γεωθερμικά νερά προκαλούν την ταχεία διάβρωση των περισσότερων κραμάτων μετάλλων, αλλά αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα κατά τη χρήση τους εκτός από τις περιοχές όπου αντλούνται υψηλής θερμοκρασίας όξινα ύδατα (πολύ σπάνια), για παράδειγμα σε ενεργές ηφαιστειακές ζώνες. Το σύνηθες βαθύ γεωθερμικό νερό έχει σχεδόν ουδέτερο pH. Οι κυριότερες επιπτώσεις διάβρωσης μετάλλων που πρέπει να αποφεύγονται είναι η διάβρωση με στίγματα σουλφιδίου και χλωριδίου ορισμένων ανοξειδωτων και υψηλής αντοχής χαλύβων και η ταχεία διάβρωση των κραμάτων χαλκού. Το υδρόθειο, ή τα προϊόντα οξειδωσης του, προκαλεί επίσης την πιο ταχεία από την κανονική υποβάθμιση των οικοδομικών υλικών, π.χ. του σκυροδέματος, των πλαστικών, και των βαφών.

4.5.4. Ρύπανση

Από τις μηχομονωμένες γεωτρήσεις εκροής μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120 dB), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να ψεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και τα κτίρια. Με την εφαρμογή ορθών πρακτικών μπορούν να μειωθούν οι επιδράσεις αυτές σε αποδεκτά επίπεδα. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, λόγω της χαμηλότερης αποδοτικότητας τους, εκπέμπουν περισσότερους υδρατμούς ανά μονάδα ισχύος από τους σταθμούς με ορυκτά καύσιμα. Οατμός από τους σιγαστήρες των κεφαλών των φρεάτων και τους πύργους ψύξης των σταθμών μπορεί να προκαλέσει τοπικά μια αυξημένη τάση για σχηματισμόομίχλης και χειμερινού πάγου.

Τα απόβλητα γεωθερμικά νερά που ελευθερώνονται σε υδάτινους διαύλους μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημαθερμικής ρύπανσης, εκτός εάν αραιώνονται κατά 100:1 τουλάχιστο. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να έχουν τέσσερα κύρια ρεύματα αποβλήτων. Μεγάλοι όγκοι απορριπτόμενου ζεστού αλατούχου νερού παράγονται στα υδροθερμικά πεδία. Μη καθαρός υδρατμός αναδύεται από τους πύργους ψύξης των σταθμών, οι οποίοι παράγουν επίσης μια ροή συμπυκνώματος που περιέχει ποικίλες συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων, ανθρακικών αλάτων, και βορίου. Απόβλητα αέρια διαφεύγουν από τις εξόδους απαερίωσης των αντλιών.

Οι γεωθερμικοί ατμοί ποικίλουν ευρέως ως προς τα περιεχόμενα αέρια (συνά 0,15%), τα οποία είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και αμμωνία. Η απαγωγή του υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις εάν δεν διασκορπίζεται επαρκώς, και σ' ένα μεγάλο γεωθερμικό σταθμό κοντά σε κοινότητες μεχαμηλή ανοχή στις οσμές χρειάζεται μία μονάδα παγίδευσης του θείου (διεργασίας Stretford).

Η επίπτωση της διασποράς των σουλφιδίων στα δέντρα και τα φυτά φαίνεται να είναι μικρή. Ηχαμηλή συγκέντρωση ραδονίου στον ατμό (3-200 nanocuries/kg ή 0,1-7,4 kilobecquerels/kg), όταν διασκορπίζεται είναι απίθανο να έχει επιπτώσεις στην υγεία. Ο υδράργυρος των γεωθερμικών ρευστών (1-10 μg/kg) τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά οι δημιουργούμενες συγκεντρώσεις δεν είναι επικίνδυνες.

Η σύσταση των γεωθερμικών νερών ποικίλλει ευρέως. Στις πρόσφατες ηφαιστειακές περιοχές αυτά είναι συνήθως αραιά (< 0,5%) αλατούχα διαλύματα, αλλά τα νερά στις ιζηματογενείς λεκάνες ή τις ενεργές ηφαιστειακές περιοχές έχουν ιδιαίτερα μεγάλη συγκέντρωση σε άλμες. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά, τα περισσότερα γεωθερμικά νερά περιέχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις βορίου, φθοριδίων, αμμωνίας, πυριτίου, υδρόθειου

και αρσενικού. Στα συνήθη αραιά γεωθερμικά νερά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, π.χ. σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, ψευδαργύρου, καδμίου και θαλλίου, σπάνια υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα για το πόσιμο νερό επίπεδα. Πάντως, οι συμπυκνωμένες άλμες μπορεί να περιέχουν ικανά επίπεδα βαρέων μετάλλων.

Λόγω της σύνθεσης τους, τα απόβλητα γεωθερμικά νερά ή συμπυκνώματα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις παροχές πόσιμου ή αρδευτικού νερού και την υδρόβια ζωή. Χαμμωνία μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη φυκιών στους υδάτινους διαύλους και να ευνοήσει τον ευτροφισμό, ενώ η εισχώρηση του βορίου στα αρδευτικά ύδατα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ευαίσθητα φυτά, όπως τα εσπεριδοειδή. Μικρές ποσότητες ιζήματος μεταλλικού σουλφιδίου, που περιέχουν αρσενικό, αντιμόνιο και υδράργυρο, μπορεί να συσσωρευτούν στα ιζήματα των ρυακιών και να προκαλέσουν ανεπιθύμητα υψηλές (πάνω από 0,5 ppm) συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια.

4.5.5. Επανάγχυση

Το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανάγχυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στα έγκατα μέσω φρεάτων απόρριψης. Η επανάγχυση του συμπυκνώματος ατμού εμφανίζει λίγα προβλήματα και εφαρμόζεται στην Ιταλία και τις ΗΠΑ. Μια πιο δύσκολη περίπτωση επανάγχυσης συνιστούν οι πολύ μεγαλύτεροι όγκοι του διαχωριζόμενου απόβλητου ζεστού νερού (περίπου 50 μετρικοί τόνοι ανά MW_e) στα πεδία υπερίσχυσης νερού.

Η απόθεση πυριτίου και ανθρακικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει αποφράξεις στις σχισμές των πετρωμάτων, εάν δεν ικανοποιούνται οι κατάλληλες θερμοκρασιακές, χημικές και υδρολογικές συνθήκες στο βάθος απόρριψης. Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητη πριν την επανάγχυση η χημική επεξεργασία της άλμης. Η επιλεκτική επανάγχυση του νερού στο θερμικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των πιέσεων του υδροφόρου ορίζοντα και στην απόληψη περισσότερης θερμότητας από το πέτρωμα. Ένα επιτυχές σύστημα επανάγχυσης νερού λειτουργεί για αρκετά χρόνια στο Ahuachapan του Ελ Σαλβαδόρ.

4.6. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά

Τα Φ/Β συστήματα προκαλούν ελάχιστα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο εξοπλισμός παραγωγής παράγει ηλεκτρισμό αθόρυβα και δεν εκπέμπει κανενός είδους επιβλαβή αέρια κατά τη λειτουργία του. Το βασικό υλικό για τα πιο συνήθη πλαίσια (πυρίτιο) είναι εντελώς αβλαβές και διατίθεται εν αφθονία. Πιθανοί κίνδυνοι πάντως υπάρχουν, σχετιζόμενοι με την παραγωγή ορισμένων από τις λιγότερο συνήθεις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης. Οι δύο πιο ελπιδοφόρες επιλογές, το τελλουριούχο κάδμιο και ο δισεληνιούχος ινδικός χαλκός, περιέχουν μικρές ποσότητες σουλφιδίου του καδμίου, το οποίο θέτει ενδεχόμενους κινδύνους από το κάδμιο κατά την παραγωγή των πλαισίων. Ευτυχώς, υφίστανται δοκιμασμένες μέθοδοι που διέπουν την διαχείριση τέτοιων σύνθετων ουσιών, οι οποίες υιοθετούνται καθ' όλη τη διαδικασία παραγωγής.

Μια κριτική σχετικά με τα πρώτα Φ/Β πλαίσια ήταν ότι καταλάωναν περισσότερη ενέργεια κατά την παραγωγή τους από όση παρήγαγαν κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Με τις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής και τις βελτιωμένες αποδοτικότητες λειτουργίας αυτός ο ισχυρισμός πλέον δεν ευσταθεί. Η ακριβής ενεργειακή απολαβή εξαρτάται προφανώς από τον διαθέσιμο ηλιακό πόρο και τον βαθμό στον οποίο το σύστημα είναι λειτουργικό. Τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και ένας υψηλός συντελεστής αξιοποίησης αποφέρουν πιο γρήγορες ενεργειακές απολαβές απ' ό,τι εάν υπάρχει λιγότερο ηλιακό φως και λιγότερη χρήση, αλλά συνήθως η απόσβεση επιτυγχάνεται εντός δύο ετών.

4.7. Ρύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συγκεντρωτικά συστήματα

Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις παραβολικών κοίλων, περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να προκληθούν λόγω της εκχύλισης ή διαρροής του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας. Το ρευστό είναι συνήθως κάποιος αρωματικός υδρογονάνθρακας που μπορεί να έχει χαρακτηριστεί, ανάλογα με τη χώρα ή την πολιτεία, ως επικίνδυνο υλικό. Όταν συμβεί διαρροή, το μολυσμένο έδαφος μεταφέρεται σε μία εγκατάσταση βιολογικής αποκατάστασης εντός του σταθμού όπου με χρήση γηγενών βακτηρίων του χώματος αποσυντίθεται το ρευστό μέχρις ότου η συγκέντρωση του μειωθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Εκτός από τις διαρροές ρευστού, κατά την κανονική λειτουργία λαμβάνει χώρα και κάποιο επίπεδο εκπομπών ατμών του ρευστού από το σώμα των βαλβίδων και τα στεγανωτικά των αντλιών.

Παρότι η οσμή αυτών των εκπομπών ατμών είναι συχνά έκδηλη, οι εκπομπές κείνται εντός των επιτρεπομένων ορίων. Κατά τη λειτουργία των σταθμών ηλιακού πύργου ισχύος δεν απελευθερώνονται επικίνδυνες εκπομπές υγρών ή αερίων. Εάν προκύψει διασπορά άλατος, αυτό θα στερεοποιηθεί προτού συμβεί κάποια σημαντική μόλυνση του εδάφους. Το άλας συλλέγεται με ένα φτυάρι και μπορεί να ανακυκλωθεί, εάν αυτό απαιτείται. Όταν οι δύο αυτές τεχνολογίες υβριδοποιούνται με κάποιο συμβατικό σταθμό ορυκτών καυσίμων, τότε εκπομπές θα απελευθερώνονται από το μη ηλιακό τμήμα του σταθμού.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων δίσκου/μηχανής είναι ελάχιστες. Οι μηχανές Stirling είναι γνωστές για την αθόρυβη λειτουργία τους, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης βενζίνης ή ντίζελ, ενώ ακόμα και οι μηχανές Brayton υψηλής ανάκτησης αναφέρεται ότι είναι σχετικά αθόρυβες. Η μεγαλύτερη πηγή θορύβου από ένα σύστημα δίσκου/Stirling είναι ο ανεμιστήρας της ψυκτικής μονάδας. Από την άλλη, τα συστήματα αυτά δεν έχουν διαδοθεί αρκετά ώστε να αποτιμηθούν ρεαλιστικά οι οπτικές επιπτώσεις τους. Τα συστήματα μπορεί να έχουν μεγάλο ύψος κατατομής, εκτεινόμενα έως και 15 μέτρα επάνω από το έδαφος.

Πάντως, όσον αφορά την αισθητική δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως επιβλαβή, αφού τα συστήματα δίσκου/μηχανής προσομοιάζουν με τους δορυφορικούς δίσκους, οι οποίοι είναι γενικά αποδεκτοί από το κοινό. Εξάλλου, οι εκπομπές από αυτά τα συστήματα είναι εξαιρετικά χαμηλές. Πέρα από την πιθανότητα διασποράς μικρών ποσοτήτων ελαίου μηχανής ή ψυκτικού υγρού ή γράσου από το κιβώτιο ταχυτήτων, τα συστήματα αυτά δεν παράγουν υγρά απόβλητα όταν λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια. Ακόμα και όταν λειτουργούν με ορυκτό καύσιμο, τα συστήματα σταθερής ροής καύσης που χρησιμοποιούνται τόσο στις μονάδες Stirling όσο και στις Brayton έχουν ως αποτέλεσμα εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα εκπομπών.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ”

5.1. Στοιχεία εκπομπών με χρήση της βάσης δεδομένων GEMIS

Το GEMIS είναι μία βάση δεδομένων στην οποία υπάρχουν οι τιμές των ρύπων που παράγονται στον πλανήτη κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανά τύπο εργοστασίου), αλλά και από τα βασικά μέσα μεταφοράς όπως αυτοκίνητα, λεωφορεία, αεροπλάνα και φορτηγά. Εμείς θα ασχοληθούμε με τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων GEMIS, αναλύονται στους παρακάτω πίνακες οι τιμές των ρύπων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση το καύσιμο και την εγκατεστημένη ισχύ.

Ο πρώτος πίνακας αφορά τιμές για καθαρό αέριο, ο δεύτερος πίνακας εξετάζει τιμές σε ακατέργαστο αέριο και ο τρίτος εξετάζει τα ποσοστά εκπομπής αερίων.

Πίνακας 5.1. τιμές για Clean gas= καθαρό αέριο

καύσιμο	Εγκατεστημένη ισχύς	CO ₂ mg/Nm ³	SO ₂ mg/Nm ³	CO mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³
λιγνίτης	50 MW	265,036*10 ³	265,036*10 ³	250,00000	500,00000

diesel	50 MW	$254,533 \cdot 10^3$	746,19210	750,00000	$4,00000 \cdot 10^3$
Άνθρακα	50 MW	$273,394 \cdot 10^3$	317,11386	250,00000	$1,00000 \cdot 10^3$
Βιόμαζα	30 MW	$266,227 \cdot 10^3$	88,585784	20,000000	300,00000
λιγνίτης	300 MW	$268,068 \cdot 10^3$	75,835537	165,00000	195,0000 0
diesel	100 MW	$242,937 \cdot 10^3$	$4,58915 \cdot 10^3$	-	-
Άνθρακα	700 MW	$271,671 \cdot 10^3$	408,37954	20,000000	180,0000 0
λιγνίτης	500 MW	$273,788 \cdot 10^3$	193,49433	50,000000	192,50000
diesel	500 MW	$254,533 \cdot 10^3$	1,6109250 kg/h	750,00000	$4,00000 \cdot 10^3$
Άνθρακα	500 MW	$272,787 \cdot 10^3$	200,70703	110,00000	750,00000

Πίνακας 5.2. τιμές για Raw gas= ακατέργαστο αέριο

καύσιμο	Εγκατεστημένη ισχύς	CO ₂ mg/Nm ³	SO ₂ mg/Nm ³	CO mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³
λιγνίτης	50 MW	265,036*10 ³	-	250,00000	500,00000
diesel	50 MW	254,533*10 ³	746,19210	750,00000	4,00000*10 ³
Άνθρακα	50 MW	273,394*10 ³	-	250,00000	1,00000*10 ³
Βιόμαζα	30 MW	266,227*10 ³	88,585784	20,000000	300,00000
λιγνίτης	300 MW				
diesel	100 MW	242,937*10 ³	4,58915*10 ³	-	-
Άνθρακα	700 MW	271,671*10 ³	4,08380*10 ³	20,000000	1,20000*10 ³
λιγνίτης	500 MW	254,533*10 ³	746,19210	750,00000	700,00000
diesel	500 MW	254,533*10 ³	746,19210	750,00000	4,00000*10 ³
Άνθρακα	500 MW	-	2,00707*10 ³	100,00000	1,00000*10 ³

Πίνακας 5.3. τιμές για Emission rate =Επίπεδα εκπομπών αερίων

καύσιμο	Εγκατεστημένη ισχύς	CO ₂ (kg/h)	SO ₂ (kg/h)	CO (kg/h)	NO _x (kg/h)
λιγνίτης	50 MW	46,3125*10 ³	100,87910	43,685006	87,370012
diesel	50 MW	-	161,09*10 ⁻³	161,91*10 ⁻³	863,54*10 ⁻³
Άνθρακα	50 MW	48,7996*10 ³	56,603524	44,623974	178,49590
Βιόμαζα	30 MW	-	10,639693	2,4021220	36,031830
λιγνίτης	300 MW				
diesel	100 MW	93,8268*10 ³	1,77242*10 ³	-	-
Άνθρακα	700 MW		833,29636	40,809898	367,28908
Βιόμαζα	100 MW	-	-	-	-
λιγνίτης	500 MW	588,289*10 ³	415,76183	107,43515	413,62531
diesel	500 MW	-	1,6109250	1,6191458	8,6354441
Άνθρακα	500 MW	-	299,11482	163,93362	1,11773*10 ³

Πίνακας 5.4. τιμές ρύπων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	SO ₂ (Kg/TJ)	CO ₂ (Kg/TJ)
1	Δε δίνονται στοιχεία ρύπων	Δε δίνονται στοιχεία ρύπων
10	Δε δίνονται στοιχεία ρύπων	Δε δίνονται στοιχεία ρύπων
20	750	34*10 ³
25	131,11	131,11
100	750	34*10 ³

5.2. Στοιχεία εκπομπών ρύπων θερμοηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα

Στους παρακάτω πίνακες ακολουθούν στοιχεία που αφορούν τους ρύπους σε CO₂ στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, σε σχέση με το είδος του σταθμού αλλά και την ποσότητα παραγωγής και καύσιμο.

Πίνακας 5.5. τιμές έτους 2005

Μονάδα ΑΗΣ	ΕΓΚΑΤ.	παραχθείσα	εξαχθείσα	κατανάλωση	κατανάλωση	κατανάλωση	κατανάλωση
	ΙΣΧΥΣ	ενέργεια		λιγνίτη	ΦΑ	μαζούτ	diesel
	MW	MWh	MWh	tn	kNm ³	tn	klt
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 1	300	2236520	2018082	4,327,143	0	0	1,494.20
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 2	300	2156810	1937313	4,264,835	0	0	2,584.94
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 3	310	2115815	1903805	3,997,085	0	0	1,011.80
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 4	310	2403055	2171857	4,547,251	0	0	1,061.20
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 5	375	2722175	2451516	4,953,061	0	0	1,363.70
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	1,595	11634375	10482573	22,089,375	0	0	7,516
Καρδιάς Μονάδα Νο 1	300	2097150	1873431	3,891,190	0	0	1,046.80
Καρδιάς Μονάδα Νο 2	300	2077765	1866667	3,833,860	0	0	1,210.05
Καρδιάς Μονάδα Νο 3	325	2158195	1946802	3,975,880	0	0	1,873.80
Καρδιάς Μονάδα Νο 4	325	2279735	2043455	4,202,762	0	0	2,341.25
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	1,250	8612845	7730355	15,903,692	0	0	6,471.90
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 1	70	316577	285199	635,193	0	0	2,393.73
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 2	125	790788	730656	1,566,159	0	0	3,559.51
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 3	125	669086	610407	1,356,782	0	0	3,171.15
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 4	300	1072815	963413	2,043,721	0	0	4,700.30
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	620	2849266	2589675	5,601,855	0	0	13,824.69
Αμυνταίου Μονάδα Νο 1	300	2104395	1891467	3,894,000	0	0	2,066.80
Αμυνταίου Μονάδα Νο 2	300	2378360	2151541	4,409,000	0	0	1,351.00
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	600	4482755	4043008	8,303,000	0	0	3,417.80

Μελίτη	330	2568445	2253280	3,098,700	0	0	3,335.13
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ	330	2568445	2253280	3,098,700	0.00	0.00	3,335.13
Μεγαλόπολης Μονάδα No 1	125	788944	692150		0	0	2,597.88
Μεγαλόπολης Μονάδα No 2	125	863452	764958		0	0	2,568.81
Μεγαλόπολης Μονάδα No 3	300	1656820	1485644		0	0	7,406.64
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ I,II,III	550	3309216	2942752	0	0	0	12,573.33
Μεγαλόπολης Μονάδα No 4	300	2084610	1786131	4,966,897	0	0	7,094.87
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ IV	300	2084610	1786131	4,966,897	0	0	7,094.87
Λαυρίου Μονάδα No 1	150	658028	617618			159,481	317.53
Λαυρίου Μονάδα No 2	300	1307528	1231161			311,152	432.49
Λαυρίου ΣΚ3 (IATM, Α/Σ No1, Α/Σ No2)	176.5	640497	625997		177,755.68		
Λαυρίου ΑΤΜ	63	236174	222153		0		
Λαυρίου Α/Σ No1	57	168124	167935		74,621.21		
Λαυρίου Α/Σ No2	57	236199	235909		103,134.47		
Λαυρίου ΣΚ4 (IATM, Α/Σ No1, Α/Σ No2, Α/Σ No3))	559.9	3068194	3011864		608,584.53		13
Λαυρίου ΑΤΜ	203	1146732	1091339				
Λαυρίου Α/Σ No1	119	593535	593255		187,326		1.16
Λαυρίου Α/Σ No2	119	605481	605179		191,847		11.96
Λαυρίου Α/Σ No3	119	722446	722091		229,411		
ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	1,186	5674247	5486640	0	786,340.21	470,633.05	763.14
Αγίου Γεωργίου No 8	160	734264	681239		191,056.26		
Αγίου Γεωργίου No 9	200	982508	909826		268,375.56		
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	360	1716772	1591065	0	459,431.82	0.00	0.00
Αλιβερίου No 3	150	766857	728146			184,283.48	101.58
Αλιβερίου No 4	150	766619	728134			177,895.76	32.41
ΑΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	300	1533476	1456280	0.00	0.00	362,179.24	133.99

Λινοπεραμάτων Α/Η No1	6	673	645			234.445	0.00
Λινοπεραμάτων Α/Η No2	15	96347	91314			28,993.254	10.84
Λινοπεραμάτων Α/Η No3	15	101560	96183			31,276.104	7.56
Λινοπεραμάτων Α/Η No4	25	169630	158158			48,678.238	22.80
Λινοπεραμάτων Α/Η No5	25	140666	131358			39,610.892	23.49
Λινοπεραμάτων Α/Η No6	25	176447	165929			49,694.104	10.60
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ No1	12	70696	68123			14,629.73	54.43
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ No2	12	63855	61403			13,282.99	37.04
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ No3	12	69524	66840			14,183.86	43.53
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ No4	12	56281	54181			11,612.57	36.54
Λινοπεραμάτων Α/Σ No1	16	497	496				253.19
Λινοπεραμάτων Α/Σ No2	16	1980	1974				1,013.94
Λινοπεραμάτων Α/Σ No3	43	69552	68557				21,714.29
Λινοπεραμάτων Α/Σ No4	15	5319	5290				2,024.07
Λινοπεραμάτων Α/Σ No5	28	34583	34260				10,531.97
ΑΗΣ ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	279	1057610	1004712	0.00	0.00	252,196.19	35,784.27
Χανίων Α/Σ No1	16	874	863				528.19
Χανίων Α/Σ No4	24	1369	1364				645.10
Χανίων Α/Σ No5	30	14958	14729				7,173.70
Χανίων Α/Σ No11	59	113870	111384				40,814.49
Χανίων Α/Σ No12	59	147277	144574				47,401.42
Χανίων Α/Σ No13 (Α/Σ No2 ΛΟΥΚΟΣ)	28	17793	17616				5,384.03
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕΚ(ΙΑΤΜ,Α/Σ No6,Α/Σ No7)	132	477370	468427				143,877.91
ΧΑΝΙΩΝ ΑΤΜ		14432	13551				
Χανίων Α/Σ No6	45	165714	165254				71,965.22

Χανίων Α/Σ Νο7	45	168224	167623				71.912.69
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ	349	773511	758957	0	0.00	0.00	245,824.83
Ρόδου Α/Η Νο1	15.00	104992	97830			30,905.28	8.94
Ρόδου Α/Η Νο2	15.00	113394	105680			33,240.54	0.78
Ρόδου ΜΕΚ Νο1	12.28	72146	69896			14,524.06	69.55
Ρόδου ΜΕΚ Νο2	12.28	72297	70072			14,243.80	68.89
Ρόδου ΜΕΚ Νο3	23.41	46064	44088			9,080.15	112.68
Ρόδου ΜΕΚ Νο4	23.41	53491	51327			10,708.20	152.31
Ρόδου ΜΕΚ Νο5	23.41	64141	61814			12,746.30	125.31
Ρόδου Α/Σ Νο1	24.00	26943	26872				12,993.00
Ρόδου Α/Σ Νο2	36.00	40515	40050				21,307.00
Ρόδου Α/Σ Νο3	21.32	55323	54829				20,708.00
ΑΗΣ ΡΟΔΟΥ	206.11	649306	622458	0	0.00	125,448.33	55,546.46
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΑΤΜ		828793	776081				
Κομοτηνής Α/Σ Νο1	158	816879	816605		244,866.04		95
Κομοτηνής Α/Σ Νο2	158	823875	823591		247,849.61		95
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ							
ΜΕΚ(ΙΑΤΜ,Α/Σ Νο1,Α/Σ Νο2)	485	2469547	2416277		492,715.65		190.00
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	485	2469547	2416277	0	492,715.65	0.00	190.00
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ ΜΕΚ Νο1	51.12	323556	311913			62,501.65	18.74
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ ΜΕΚ Νο2	51.12	325779	314395			62,782.90	15.32
ΑΗΣ ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	102	649335	626308	0	0.00	125,284.55	34.05

Πίνακας 5.6. τιμές έτους 2006

Μονάδα ΑΗΣ	ΕΓΚΑΤ.	παραγείσα	εξαγείσα	κατανάλωση	κατανάλωση	κατανάλωση	κατανάλωση
	ΙΣΧΥΣ	ενέργεια		λιγνίτη	ΦΑ	μαζούτ	η diesel
	MW	MWh	MWh	tn	kNm3	tn	kt
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 1	300	1646475	1481936	3,064,850	0	0	1,565.54
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 2	300	1670005	1498521	3,047,438	0	0	1,350.68
Αγίου Δημητρίου	310	2229935	2009740	4,056,586	0	0	1,346.40

Μονάδα Νο 3

Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 4	310	2117000	1919105	3,832,185	0	0	1,876.19
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 5	375	3092405	2787618	5,496,347	0	0	940.60
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	1,595	10755820	9696920	19,497,406	0	0	7,079
Καρδιάς Μονάδα No 1	300	1625145	1439280	3,059,810	0	0	2,058.86
Καρδιάς Μονάδα No 2	300	1900740	1697349	3,569,100	0	0	1,030.34
Καρδιάς Μονάδα No 3	325	2043650	1835662	3,834,300	0	0	1,107.70
Καρδιάς Μονάδα No 4	325	1770335	1581756	3,347,300	0	0	3,423.87
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	1,250	7339870	6554047	13,810,510	0	0	7,620.77
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 1	70	410425	369437	868,463	0	0	3,384.94
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 2	125	720757	662914	1,493,985	0	0	3,980.80
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 3	125	778115	712688	1,661,590	0	0	2,077.00
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 4	300	974800	872558	1,996,823	0	0	1,138.05
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	620	2884097	2617597	6,020,861	0	0	10,580.79
Αμυνταίου Μονάδα No 1	300	2141810	1920280	4,130,569	0	0	3,769.20
Αμυνταίου Μονάδα No 2	300	2026030	1817525	3,928,071	0	0	3,020.40
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	600	4167840	3737805	8,058,640	0	0	6,789.60
Μελίτη	330	2188985	1907886	2,647,680	0	0	3,727.16
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ	330	2188985	1907886	2,647,680	0.00	0.00	3,727.16
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 1	125	468561	409858	1,263,592	0	0	2,400.19
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 2	125	579087	508967	1,640,529	0	0	2,679.56
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 3	300	1923920	1719140	5,026,631	0	0	14,587.81
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ I,II,III	550	2971568	2637965	7,930,752	0	0	19,667.56
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 4	300	2193180	1878981	5,293,378	0	0	2,942.88
ΑΗΣ	300	2193180	1878981	5,293,378	0	0	2,942.88

ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ							
IV							
Λαυρίου Μονάδα No 1	150	615313	576450	0		154,171.86	291.55
Λαυρίου Μονάδα No 2	300	1363520	1288095	0		327,162.47	150.07
Λαυρίου ΣΚ3 (ΙΑΤΜ, Α/Σ No1, Α/Σ No2)	176.5	455213	445343	0		128,576.74	
Λαυρίου ΑΤΜ	62.5	163230	153704	0			
Λαυρίου Α/Σ No1	57	147176	147024	0		64,862.22	
Λαυρίου Α/Σ No2	57	144807	144615	0		63,714.53	
Λαυρίου ΣΚ4 (ΙΑΤΜ, Α/Σ No1, Α/Σ No2, Α/Σ No3)	559.9	2518099	2461170	0		510,767.10	200.34
Λαυρίου ΑΤΜ	203	945345	889275	0			
Λαυρίου Α/Σ No1	119	479524	479256	0		156,363.62	48.73
Λαυρίου Α/Σ No2	119	556670	556370	0		180,250.04	65.71
Λαυρίου Α/Σ No3	119	536560	536269	0		174,153.44	85.90
Λαυρίου ΣΚ5 (ΙΑΤΜ, Α/Σ No1)	385	2071726	2041411	0		362,006.13	0.00
Λαυρίου ΑΤΜ							
Λαυρίου Α/Σ No1						362,006.13	
ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	1,572	7023871	6812470	0		639,343.85	481,334.33
Αγίου Γεωργίου No 8	160	685886	638068	0		179,339	
Αγίου Γεωργίου No 9	200	885110	818583	0		242,176	
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	360	1570996	1456651	0		421,515.11	0.00
Αλιβερίου No 3	150	757528	719366	0		182,308	80.90
Αλιβερίου No 4	150	757156	721133	0		175,392	46.93
ΑΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	300	1514684	1440499	0.00		0.00	357,700.12
Λινοπεραμάτων Α/Η No1	6.25	0	0	0			
Λινοπεραμάτων Α/Η No2	15	83954	79558	0		26,014.35	9.20
Λινοπεραμάτων Α/Η No3	15	89268	84705	0		27,471.33	13.02
Λινοπεραμάτων Α/Η No4	25	175533	163922	0		50,805.22	38.14

Λινοπεραμάτων Α/Η Νο5	25	161362	150784	0		43,648.64	33.30
Λινοπεραμάτων Α/Η Νο6	25	139228	130742	0		38,925.74	15.41
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο1	12.28	66819	64426	0		14,078.25	62.46
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο2	12.28	69206	66606	0		14,426.88	39.96
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο3	12.28	65316	63038	0		13,496.37	50.47
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο4	12.28	77368	74767	0		16,062.88	41.28
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο1	16.25	827	826	0			401.22
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο2	16.25	3658	3649	0			1,791.69
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο3	43.3	84885	83749	0			26,064.11
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο4	14.72	5234	5206	0			1,977.30
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο5	27.95	44739	44330	0			13,707.48
ΑΗΣ ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩ Ν	278.8	1067397	1016308	0.00	0.00	244,929.65	44,245.03
Χανίων Α/Σ Νο1	16.2	1620	1601	0			1,055.48
Χανίων Α/Σ Νο2	27.95	24026	23700	0			7,126.84
Χανίων Α/Σ Νο4	24	1730	1725	0			779.64
Χανίων Α/Σ Νο5	30	17988	17728	0			8,423.19
Χανίων Α/Σ Νο11	59.36	157752	154459	0			55,711.85
Χανίων Α/Σ Νο12	59.36	103014	101286	0			33,338.51
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕΚ(1ΑΤΜ,Α/Σ Νο1,Α/Σ Νο2)	132.3	555399	544152	0			160,200.72
ΧΑΝΙΩΝ ΑΤΜ	42.5	181344	171451	0			
Χανίων Α/Σ Νο6	44.9	195450	194922	0			83,518.57
Χανίων Α/Σ Νο7	44.9	178405	177779	0			76,682.15
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ	349	861529	844651	0	0.00	0.00	266,636.22
Ρόδου Α/Η Νο1	15	97365	90064	0		28,498.68	5.31
Ρόδου Α/Η Νο2	15	93106	86163	0		27,258.63	9.83
Ρόδου ΜΕΚ Νο1	12.28	62144	60120	0		12,146.87	89.62

Ρόδου ΜΕΚ Νο2	12.28	65905	63803	0		13,025.72	49.43
Ρόδου ΜΕΚ Νο3	23.41	78420	75238	0		16,240.89	92.07
Ρόδου ΜΕΚ Νο4	23.41	105656	101739	0		21,896.53	114.74
Ρόδου ΜΕΚ Νο5	23.41	108041	104233	0		22,475.26	84.75
Ρόδου Α/Σ Νο1	24	6017	5996	0			3,276.00
Ρόδου Α/Σ Νο2	36	11078	10953	0			5,782.00
Ρόδου Α/Σ Νο3	21.32	8646	8547	0			3,509.00
Ρόδου Α/Σ Νο4	21.32	44959	44309	0			15,760.51
ΑΗΣ ΡΟΔΟΥ	206	681337	651165	0	0	141,543	28,773
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΜΕΚ(ΙΑΤΜ,Α/Σ Νο1,Α/Σ Νο2)	484.6	2216056	2163284	0	444,859.20		548.35
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΑΤΜ	169.6	750584	698344	0			
Κομοτηνής Α/Σ Νο1	157.5	770419	770138	0		234,691.75	535.35
Κομοτηνής Α/Σ Νο2	157.5	695053	694802	0		210,167.44	13.00
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	485	2216056	2163284	0	444,859.20	0.00	548.35
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟ Υ ΜΕΚ Νο1	51.12	319866	308115	0		61,164.14	98.59
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟ Υ ΜΕΚ Νο2	51.12	319770	307340	0		61,139.46	46.67
ΑΗΣ ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟ Υ	102	639636	615455	0	0.00	122,303.60	145.26
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ Νο 1	10.00	28800	24416	123,119			502.16
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ Νο 2	33.00	134645	123200	314,784			1,304.35
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	43	163445	147616	437,903	0.00	0.00	1,806.51

Πίνακας 5.7. τιμές έτους 2007

Μονάδα ΑΗΣ	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ MW	παραχθείσα ενέργεια MWh	εξαχθείσα MWh	μικτή κατανάλωση λεγνίτη	κατανάλωση ΦΑ	κατανάλωση μαζούτ	κατανάλωση diesel
				tn	kNm3	tn	klt
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 1	300	2371355	2135141	4,104,060	0	0	1,612.31

Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 2	300	2419580	2170643	4,272,162	0	0	396.39
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 3	310	2429720	2194340	4,135,554	0	0	1,060.00
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 4	310	1579840	1434416	2,746,537	0	0	2,575.90
Αγίου Δημητρίου Μονάδα Νο 5	375	2948340	2661522	5,178,368	0	0	341.85
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	1,595	11748835	10596062	20,436,681	0	0	5,986
Καρδιάς Μονάδα Νο 1	300	2157355	1923802	3,976,478	0	0	1,121.18
Καρδιάς Μονάδα Νο 2	300	1796120	1607961	3,320,764	0	0	2,621.61
Καρδιάς Μονάδα Νο 3	325	2074620	1864535	3,878,835	0	0	1,753.51
Καρδιάς Μονάδα Νο 4	325	1979370	1772508	3,650,742	0	0	3,250.33
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	1,250	8007465	7168806	14,826,819	0	0	8,747
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 1	70	420365	377291	884,975	0	0	3,743.83
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 2	125	745410	686200	1,535,640	0	0	4,016.40
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 3	125	627824	575093	1,363,103	0	0	2,682.00
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 4	300	1495395	1341157	2,997,360	0	0	3,768.09
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ	620	3288994	2979741	6,781,078	0	0	14,210.31
Αμυνταίου Μονάδα Νο 1	300	1629850	1464019	2,810,722	0	0	2,190.70
Αμυνταίου Μονάδα Νο 2	300	1813760	1618069	3,358,565	0	0	4,072.70
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	600	3443610	3082088	6,169,287	0	0	6,263.40
Μελίτη	330	2498800	2188505	3,138,400	0	0	3,159.98
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ	330	2498800	2188505	3,138,400	0.00	0.00	3,159.98
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 1	125	853284	754204	2,256,248	0	0	2,199.36
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 2	125	882850	784606	2,330,640	0	0	1,900.00
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 3	300	1736780	1558758	4,323,196	0	0	8,021.45
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ I,II,III	550	3472914	3097568	8,910,084	0	0	12,120.81

Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 4	300	2191360	1868981	5,133,664	0	0	3,313.92
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ TV	300	2191360	1868981	5,133,664	0	0	3,313.92
Λαυρίου Μονάδα No 1	150	623813	585549	0		153,642.75	267.23
Λαυρίου Μονάδα No 2	300	1365521	1290731	0		325,443.27	263.57
Λαυρίου ΣΚ3 (1ΑΤΜ, Α/Σ Νο1, Α/Σ Νο2)	176.5	878831	860934	0	244,662.38		
Λαυρίου ΑΤΜ	62.5	322678	305390	0			
Λαυρίου Α/Σ Νο1	57	269761	269495	0	118,278.44		
Λαυρίου Α/Σ Νο2	57	286392	286049	0	126,383.94		
Λαυρίου ΣΚ4 (1ΑΤΜ, Α/Σ Νο1, Α/Σ Νο2, Α/Σ Νο3)	559.9	3161498	3101169	0	630,199.67		620.29
Λαυρίου ΑΤΜ	203	1168155	1108849	0			
Λαυρίου Α/Σ Νο1	119	667089	666753	0	211,061.48		166.69
Λαυρίου Α/Σ Νο2	119	679314	678962	0	214,452.76		293.96
Λαυρίου Α/Σ Νο3	119	646940	646605	0	204,685.43		159.65
Λαυρίου ΣΚ5 (1ΑΤΜ, Α/Σ Νο1)	385	2689364	2647703	0	463,023.76		
Λαυρίου ΑΤΜ							
Λαυρίου Α/Σ Νο1							
ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	1,572	8719027	8486086	0	874,862.04	479,086.01	1,151.09
Αγίου Γεωργίου Νο 8	160	851253	795025	0	223,500		
Αγίου Γεωργίου Νο 9	200	1029766	957089	0	276,957		
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	360	1881019	1752114	0	500,456.80	0.00	0.00
Αλιβερίου Νο 3	150	618125	588278	0		147,652	35.94
Αλιβερίου Νο 4	150	816537	778420	0		188,533	102.62
ΑΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	300	1434662	1366698	0.00	0.00	336,185.14	138.57
Λινοπεραμάτων Α/Η Νο1	6.25	0	0	0			
Λινοπεραμάτων Α/Η Νο2	15	94494	89753	0		29,844.70	14.49
Λινοπεραμάτων Α/Η Νο3	15	62252	58522	0		19,475.16	19.47

Λινοπεραμάτων Α/Η Νο4	25	175503	163732	0		51,084.15	23.49
Λινοπεραμάτων Α/Η Νο5	25	174994	163443	0		48,516.59	12.67
Λινοπεραμάτων Α/Η Νο6	25	75483	70711	0		20,719.69	15.95
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο1	12.28	68946	65671	0		13,808.47	69.94
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο2	12.28	64643	63019	0		12,968.91	76.72
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο3	12.28	66393	64016	0		13,093.38	41.80
Λινοπεραμάτων ΜΕΚ Νο4	12.28	69729	64306	0		13,781.52	39.99
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο1	16.25	4290	4284	0			2,081.61
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο2	16.25	2525	2519	0			1,205.52
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο3	43.3	105997	104526	0			32,036.90
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο4	14.72	10937	10881	0			3,948.93
Λινοπεραμάτων Α/Σ Νο5	27.95	31169	30859	0			9,471.97
ΑΗΣ ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩ Ν	278.8	1007354	956243	0.00	0.00	223,292.56	49,059.45
Χανίων Α/Σ Νο1	16.2	5056	5003	0			2,979.89
Χανίων Α/Σ Νο2	27.95	41131	40566	0			13,504.28
Χανίων Α/Σ Νο4	24	4967	4956	0			2,240.07
Χανίων Α/Σ Νο5	30	22953	22653	0			10,795.36
Χανίων Α/Σ Νο11	59.36	132933	130177	0			45,359.00
Χανίων Α/Σ Νο12	59.36	145654	143122	0			47,479.09
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕΚ(ΠΑΤΜ,Α/Σ Νο1,Α/Σ Νο2)	132.3	657245	643047	0			181,104.80
ΧΑΝΙΩΝ ΑΤΜ	42.5	232677	219759	0			
Χανίων Α/Σ Νο6	44.9	198959	198430	0			85,293.78
Χανίων Α/Σ Νο7	44.9	225609	224859	0			95,811.02
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ	349	1009939	989524	0	0.00	0.00	303,462.48
Ρόδου Α/Η Νο1	15	70671	65655	0		20,582.20	5.98
Ρόδου Α/Η Νο2	15	97850	90553	0		28,637.26	31.11

Ρόδου ΜΕΚ Νο1	12.28	60736	58722	0		11,930.38	88.26
Ρόδου ΜΕΚ Νο2	12.28	57636	55719	0		11,392.42	84.30
Ρόδου ΜΕΚ Νο3	23.41	121060	116188	0		24,914.76	113.20
Ρόδου ΜΕΚ Νο4	23.41	115034	111237	0		23,751.93	72.54
Ρόδου ΜΕΚ Νο5	23.41	112551	108595	0		23,304.12	62.87
Ρόδου Α/Σ Νο1	24	8191	8173	0			3,815.00
Ρόδου Α/Σ Νο2	36	11449	11345	0			5,357.00
Ρόδου Α/Σ Νο3	21.32	16975	16769	0			7,192.00
Ρόδου Α/Σ Νο4	27.95	49767	48958	0			15,827.63
ΑΗΣ ΡΟΔΟΥ	206	721920	691914	0	0	144,513	32,650
ΑΗΣ							
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ							
ΜΕΚ(ΙΑΤΜ,Α/Σ	484.6	2861196	2798294	0	568,298.86		2,044.84
Νο1,Α/Σ Νο2)							
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ							
ΑΤΜ	169.6	962701	900490	0			
Κομοτηνής Α/Σ Νο1	157.5	976556	976209	0	291,755.41		677.17
Κομοτηνής Α/Σ Νο2	157.5	921939	921595	0	276,543.46		1,367.67
ΑΗΣ							
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	485	2861196	2798294	0	568,298.86	0.00	2,044.84
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟ							
Υ ΜΕΚ Νο1	51.12	322852	310152			62,092.31	229.83
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟ							
Υ ΜΕΚ Νο2	51.12	322852	310152			62,092.31	229.83
ΑΗΣ							
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟ	102	645704	620304	0	0.00	124,184.61	459.65
Υ							
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ Νο							
1	10.00	23074	19915	98,720			222.72
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ Νο							
2	33.00	169649	154650	424,215			1,386.42
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	43	192723	174565	522,935	0.00	0.00	1,609.14

Πίνακας 5.8. τιμές έτους 2008

Μονάδα ΑΗΣ	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ	παραχθείσα ενέργεια	εξαχθείσα	κατανάλωση	kNm3	tn	klf
				λιγνίτη			
				tn	κατανάλωσ η ΦΑ	κατανάλωση μαζούτ	κατανάλωση diesel
Αγ.Δημητρίου Μονάδα Νο 1	300	2069220	1862000	3,576,400			2,127.35
Αγ.Δημητρίου Μονάδα Νο 2	300	2160205	1943540	3,759,900			1,300.90
Αγ.Δημητρίου Μονάδα Νο 3	310	1278330	1154837	2,118,992			2,629.88
Αγ.Δημητρίου Μονάδα Νο 4	310	2295600	2074088	3,904,626			2,672.90
Αγ.Δημητρίου Μονάδα Νο 5	375	2858435	2572828	5,002,240			1,313.30
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	1,595	10661790	9607293	18,362,158	0	0	10,044
Καρδιάς Μονάδα No 1	300	1820325	1619690	3,557,938			2,077
Καρδιάς Μονάδα No 2	300	2035220	1817878	3,986,786			1,639
Καρδιάς Μονάδα No 3	325	1864135	1667329	3,590,790			1,438
Καρδιάς Μονάδα No 4	325	1950755	1741077	3,873,734			1,702
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	1,250	7670435	6845974	15,009,248	0	0	6,856
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 1	70	464580	417007	970,814			2,514.54
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 2	125	575934	528251	1,169,949			4,100.05
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 3	125	771861	710124	1,634,292			2,202.00
Πτολεμαΐδας Μονάδα Νο 4	300	2113020	1895924	4,202,638			3,904.62
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	620	3925395	3551306	7,977,693	0	0	12,721
Αμυνταίου Μονάδα Νο 1	300	2249495	2021607	4,054,251			2,691.90
Αμυνταίου Μονάδα Νο 2	300	2162440	1935301	4,120,251			2,690.00
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	600	4411935	3956908	8,174,502	0	0	5,382
Μελίτη	330	2031595	1783684	2,820,100			3,022.05
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ	330	2031595	1783684	2,820,100	0	0	3,022
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 1	125	821945	727379	2,273,418			2,742.57

Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 2	125	771992	675483	2,162,211			2,353.21
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 3	300	1461730	1310179	3,777,392			7,509.13
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ I,II,III	550	3055667	2713041	8,213,021	0	0	12,605
Μεγαλόπολης Μονάδα Νο 4	300	1461030	1244602	3,318,898			2,743.54
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ IV	300	1461030	1244602	3,318,898	0	0	2,744
Λαυρίου Μονάδα Νο 1	150	621341	582603			151,540.52	309.54
Λαυρίου Μονάδα Νο 2	300	1504534	1420804			352,381.00	328.88
Λαυρίου ΣΚ3 (IATM, Α/Σ Νο1, Α/Σ Νο2)	176.5	870820	853316		237,837.86		
Λαυρίου ΑΤΜ	62.5						
Λαυρίου Α/Σ Νο1	57						
Λαυρίου Α/Σ Νο2	57						
Λαυρίου ΣΚ4 (IATM, Α/Σ Νο1, Α/Σ Νο2, Α/Σ Νο3)	559.9	2701635	2650568		542,493.66		1,033.72
Λαυρίου ΑΤΜ	203						
Λαυρίου Α/Σ Νο1	119						
Λαυρίου Α/Σ Νο2	119						
Λαυρίου Α/Σ Νο3	119						
Λαυρίου ΣΚ5 (IATM, Α/Σ Νο1)	385	2707515	2663890		467,703.96		
Λαυρίου ΑΤΜ / Α/Σ							
Λαυρίου Α/Σ Νο1							
ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	1,572	8405845	8171181	0	1,248,035	503,922	1,672
Αγίου Γεωργίου Νο 8	160	790841	741796			210,955.58	
Αγίου Γεωργίου Νο 9	200	988090	917640			269,532.51	
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	360	1778932	1659436	0	480,488	0	0
Αλιβερίου Νο 3	150	691944	657665			161,864.34	48.03
Αλιβερίου Νο 4	150	872757	832158			196,997.72	27.22

ΑΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	300	1564701	1489823		358,862	75.2
Λινοπεραμάτων						
A/H No1	6.25	0	0		0.00	0.00
Λινοπεραμάτων						
A/H No2	15	94491	88781		30,659.52	12.74
Λινοπεραμάτων						
A/H No3	15	87875	83132		28,311.34	27.12
Λινοπεραμάτων						
A/H No4	25	130859	121677		40,255.59	8.11
Λινοπεραμάτων						
A/H No5	25	170575	158853		48,580.76	6.38
Λινοπεραμάτων						
A/H No6	25	155700	145855		43,256.85	10.59
Λινοπεραμάτων						
ΜΕΚ No1	12.28	53135	50514		10,334.58	30.30
Λινοπεραμάτων						
ΜΕΚ No2	12.28	63144	61500		12,339.12	45.17
Λινοπεραμάτων						
ΜΕΚ No3	12.28	67471	65486		13,222.54	64.39
Λινοπεραμάτων						
ΜΕΚ No4	12.28	65039	62403		12,670.06	45.78
Λινοπεραμάτων						
A/Σ No1	16.25	580	579			301
Λινοπεραμάτων						
A/Σ No2	16.25	2862	2855			1,435
Λινοπεραμάτων						
A/Σ No3	43.3	64036	63218			19,840
Λινοπεραμάτων						
A/Σ No4	14.72	3383	3365			1,237
Λινοπεραμάτων						
A/Σ No5	27.95	12698	12575			3,839
ΑΗΣ						
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	278.8	971847	920792	0.0	0.0	239,630.4
ΩΝ						26,902.6
Χανίων A/Σ No1	16.2	1591	1573			990.16
Χανίων A/Σ No2	27.95	19090	18813			7,591.82
Χανίων A/Σ No4	24	1249	1243			582.35
Χανίων A/Σ No5	30	637	616			375.68
Χανίων A/Σ No11	59.36	96056	93626			33,322.41
Χανίων A/Σ No12	59.36	48509	47525			16,393.24
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ						
ΜΕΚ(ΙΑΤΜ,Α/Σ	132.3	637857	623589			#####
No1,Α/Σ No2)						
ΧΑΝΙΩΝ ΑΤΜ	42.5	233833	220858			

Χανίων Α/Σ Νο6	44.9	216750	216129				95,704.52
Χανίων Α/Σ Νο7	44.9	187274	186602				82,755.35
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ	349	804989	786985	0	0	0	237,716
Ρόδου Α/Η Νο1	15	87055	80704			25209.97	7.63
Ρόδου Α/Η Νο2	15	94519	87734			27,397.04	7.74
Ρόδου ΜΕΚ Νο1	12.28	52431	50607			10425.34	134.81
Ρόδου ΜΕΚ Νο2	12.28	49886	48059			9,903.85	92.22
Ρόδου ΜΕΚ Νο3	23.41	108237	104613			22,300.44	91.88
Ρόδου ΜΕΚ Νο4	23.41	125382	120557			25,845.48	79.29
Ρόδου ΜΕΚ Νο5	23.41	119435	115337			24,639.74	91.39
Ρόδου Α/Σ Νο1	24	17500	17466				7,748
Ρόδου Α/Σ Νο2	36	18951	18786				8,696
Ρόδου Α/Σ Νο3	21.32	25564	25253				10,617
Ρόδου Α/Σ Νο4	27.95	53275	52295				16,702
ΑΗΣ ΡΟΔΟΥ	206	698961	669117	0	0	145,722	27,566
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΜΕΚ(ΙΑΤΜ,Α/Σ Νο1,Α/Σ Νο2)	484.6	3110929	3047271		614,728.28		18.12
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΑΤΜ	169.6						
Κομοτηνής Α/Σ Νο1	157.5						
Κομοτηνής Α/Σ Νο2	157.5						
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	485	3110929	3047271	0	614,728	0	18
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚ ΟΥ ΜΕΚ Νο1	51.12	269030	258749			51785.45	7.65
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚ ΟΥ ΜΕΚ Νο2	51.12	280779	270798			53,902.11	0.00
ΑΗΣ ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚ ΟΥ ΜΕΚ	102	549809	529547			105,688	7.6
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛΑ Νο 1	10.00	3062	2589	16,057			121.00
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛΑ Νο 2	33.00	36643	33011	94,138			522.29
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛΑ	43	39705	35601	110,195	0.00	0.00	643.29

Πίνακας 5.9. εκπομπές CO₂ για τα έτη 2005-2008

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΕΠΑΛΗΘΕΥΜΕΝΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ 2005 (t CO ₂)	ΕΠΑΛΗΘΕΥΜΕΝΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ 2006 (t CO ₂)	ΕΠΑΛΗΘΕΥΜΕΝΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ 2007 (t CO ₂)	ΕΠΑΛΗΘΕΥΜΕΝΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ 2008 (t CO ₂)
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	930,813	852,916	1,018,981	976,083
ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	13,629,229	12,362,217	12,954,019	11,803,191
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ - ΦΙΛΩΤΕΙ	5,124,545	5,119,688	3,922,271	5,256,992
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ	1,955,721	1,723,533	2,031,377	1,846,726
ΑΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	1,115,197	1,101,392	1,035,194	1,104,833
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	9,815,429	8,763,371	9,505,560	9,644,380
ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	3,055,402	3,509,203	4,191,488	4,092,188
ΑΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	972,522	880,058	1,128,440	1,222,408
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ Α	5,518,005	5,072,642	5,672,797	5,300,608
ΑΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ Β	3,151,497	3,422,536	3,329,512	2,190,791
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ	3,487,897	3,839,630	4,330,643	5,150,138
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	358,515	282,003	335,340	250,409
ΑΗΣ ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	385,734	376,849	390,885	337,762
ΑΗΣ ΧΑΝΙΩΝ	646,873	702,265	799,671	632,886
ΑΗΣ ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	870,433	870,305	816,713	809,374
ΑΗΣ ΡΟΔΟΥ	568,983	529,675	545,137	566,845
ΑΣΠ ΘΗΡΑΣ	68,346	70,247	76,503	78,162
ΑΣΠ ΜΥΚΟΝΟΥ	74,795	63,552	70,436	57,656
ΑΣΠ ΠΑΡΟΥ	113,555	119,039	123,866	124,637
ΑΣΠ ΜΗΛΟΥ	27,939	26,166	27,829	22,907
ΑΣΠ ΣΑΜΟΥ	85,940	93,065	88,575	88,732
ΑΣΠ ΧΙΟΥ	116,142	122,638	127,636	79,825
ΑΣΠ ΛΗΜΝΟΥ	39,706	42,360	43,369	44,179
ΑΣΠ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	20,977	20,611	22,448	22,013
ΑΣΠ ΚΩ	152,363	158,112	166,877	164,187
ΑΣΠ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	34,669	35,556	36,283	39,657
ΑΣΠ ΣΥΡΟΥ	68,628	72,639	65,509	66,836
ΑΣΠ ΛΕΣΒΟΥ	180,596	179,214	174,095	150,077
ΤΣΠ ΣΙΦΝΟΥ	ΕΝΤΑΧΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟ 2006	11,499	12,021	12,647
ΤΣΠ ΠΑΤΜΟΥ	ΕΝΤΑΧΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟ 2006	11,265	10,599	9,381
ΤΣΠ ΙΚΑΡΙΑΣ	17,511	18,757	19,560	8,467
ΣΥΝΟΛΟ	52,587,962	50,453,003	53,073,634	52,154,977

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι το καλύτερο για το περιβάλλον και την εξάλειψη των αερίων του θερμοκηπίου, είναι η κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., ανάλογα με τις ιδιότητες της περιοχής. Για παράδειγμα σε μία περιοχή με ανέμους μπορεί να κατασκευαστεί ένα αιολικό πάρκο, σε μία περιοχή με μεγάλη ηλιοφάνεια στη διάρκεια του έτους μπορεί να γίνει ένα φωτοβολταϊκό πάρκο κ.ο.κ.

Βέβαια για να έχουμε την απαιτούμενη παραγωγή από Α.Π.Ε. θα χρειαστεί παραπάνω γη, όμως είναι προτιμότερο απ' την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ως συμπλήρωμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν λοιποί σταθμοί παραγωγής για να καλύψουν τις ανάγκες ανάλογα με τη ζήτηση. Το κόστος για να φτιαχτούν περισσότεροι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. είναι αρκετά υψηλό, όχι όμως απρόσιτο, καθώς αρκετοί δήμοι στο εξωτερικό είναι ενεργειακά ανεξαρτητοί από Α.Π.Ε. (καποιοί από αυτούς έχουν και έσοδα και οι δημότες τους δεν πληρώνουν για ηλεκτρισμό).

Όλοι οι άλλοι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά ζημειγόνοι για το περιβάλλον και τα προβλήματα που δημιουργούν μπορεί να χρειαστούν και αιώνες ώστε να εξαλειφθούν. Η ποσότητα των ρύπων που εκλείονται στην ατμόσφαιρα φαίνοντε στους πίνακες του 5^{ου} κεφαλαίου και τα νούμερα είναι αρκετά ανησυχητικά. Λύσεις υπάρχουν.

Το μόνο χρειάζεται είναι η ευαισθησία και η διάθεση για να μπουνε στη ζωή μας εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Συμβατικές και Ήπιες Μορφές Ενέργειας» των Μπαλαρά Κ., Αργυρίου Α. & Καραγιάννη Φ.
- «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας και Τάσεως» των Παπαδιά Β. & Βουρνά Κ.
- ΔΕΗ/ΔΕΘ/ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.
Επαλληθευμένες Εκπομπές CO₂ για τα έτη 2005-5008
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού ΔΕΗ. Α.Ε
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2001, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», ΚΑΠΕ
- www.cres.gr
- www.wikipedia.com
-