



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**

Πτυχιακή Εργασία

Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον



Ισμαηλίδης Αναστάσιος

Χανιά 2005



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**



Θέμα Πτυχιακής Εργασίας:

Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

- **Αναπλ. Καθ. Κατσίβελα Ελευθερία**

Εξεταστική Επιτροπή:

- **Αναπλ. Καθ. Κατσίβελα Ελευθερία**
- **Επικ. Καθ. Καραπιδάκης Εμμανουήλ**
- **Επικ. Καθ. Κολοκοτσά Διονυσία**

Ευχαριστίες:

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα αναπληρώτρια καθηγήτρια Κατσίβελα Ελευθερία για την ανάθεση και την επίβλεψη της εργασίας, την σημαντική βοήθειά της στην εκπόνηση της εργασίας και για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις και την υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της.

Επίσης ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους που μου παρείχαν όλο τον τεχνολογικό εξοπλισμό που χρειάστηκα και σε όσους βοήθησαν στη συλλογή πληροφοριών για την πραγματοποίηση της εργασίας

Περιεχόμενα

Πίνακας Συντομογραφιών.....	6
Περίληψη.....	7
Summary.....	8
Πρόλογος.....	9
Κεφάλαιο 1. Ενέργεια και άνθρωπος	10
1.1. Οι ενεργειακές κρίσεις στην ιστορία του ανθρώπου.....	10
1.2. Περιβαλλοντική κρίση.....	11
1.3. Η εμφάνιση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	12
Κεφάλαιο 2. Το παρόν της ηλεκτρικής ενέργειας	14
2.1. Είδη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
2.2. Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.....	15
Κεφάλαιο 3. Το νομοθετικό καθεστώς	28
3.1. Το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο.....	28
3.1.1. Το συνταγματικό πλαίσιο.....	28
3.1.2. Το νομοθετικό πλαίσιο.....	28
3.2 Το ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο.....	31
3.3 Το Πρωτόκολλο του Κυότο στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος	33
3.4. Συμπεράσματα.....	34
Κεφάλαιο 4. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μορφές ενέργειας	35
4.1. Γενικά.....	35
4.2. Θερμικοί σταθμοί.....	36
4.2.1.Συγκρότηση ατμοηλεκτρικών σταθμών.....	37
4.2.1.1. Ο κύκλος του ατμού.....	39
4.2.1.2 Κύκλωμα γεννήτριας.....	41
4.2.1.3. Ο ατμοστρόβιλος.....	42
4.2.1.4. Αλλαγές ισχύος σε έναν ΑΗΣ.....	44
4.2.2. Αεριοστροβιλικοί σταθμοί.....	44
4.2.3. Ρύπανση του περιβάλλοντος από θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	46
4.2.4. Ατμοηλεκτρικός σταθμός Αγίου Δημητρίου Κοζάνης.....	47
4.2.4.1 Λειτουργία μονάδας.....	47
4.2.4.2 Θάλαμοι ελέγχου.....	48
4.2.4.3 Διακίνηση λιγνίτη.....	48
4.2.4.4 Λέβητες.....	51
4.2.4.5 Στρόβιλοι- Γεννήτριες.....	52
4.2.4.6 Ψυκτικό νερό.....	53
4.2.4.7 Σύστημα υδροδότησης.....	53
4.2.4.8 Ηλεκτροστατικά φίλτρα.....	54
4.2.4.9 Αποκομιδή τέφρας.....	55
4.2.4.10 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	56
4.2.4.11 Συστήματα τηλεθέρμανσης.....	56
4.2.4.12 Γενικό ηλεκτρικό διάγραμμα μονάδων.....	57

4.3. Υδροηλεκτρικοί σταθμοί.....	58
4.3.1 Υδροστρόβιλοι.....	61
4.3.2. Συγκρότηση υδροηλεκτρικών σταθμών.....	68
4.3.2.1. Σταθμοί φυσικής ροής.....	68
4.3.2.2. Σταθμοί δεξαμενής.....	69
4.3.2.3. Υδροαντλητικά εργοστάσια.....	70
4.3.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	71

Κεφάλαιο 5. Ρύπανση του περιβάλλοντος από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μορφές ενέργειας.....	73
5.1. Εκπεμπόμενοι ρύποι.....	73
5.1.1. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	73
5.1.2. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	74
5.1.3. Τα οξείδια του αζώτου (NO _x).....	74
5.1.4. Το διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	75
5.1.5. Σωματιδιακοί ρύποι (PM-10).....	76
5.2. Τεχνολογίες καταστροφής αέριων ρύπων.....	77
5.2.1. Βασικές διεργασίες και τεχνικές για την απομάκρυνση ρύπων.....	77
5.2.2. Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων.....	79
5.2.2.1. Μηχανικοί συλλέκτες.....	79
5.2.2.2. Φίλτρα από ύφασμα (σακόφιλτρα).....	81
5.2.2.3. Εκπλυτές (υγρά φίλτρα).....	81
5.2.2.4. Ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs: Electrostatic Precipitators).....	82
5.3. Τεχνολογίες καύσης ανθράκων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	84
5.3.1. Τεχνολογίες καύσης των ανθράκων.....	85
5.3.2. Ιδιαιτερότητες των ελληνικών λιγνιτών.....	92
5.3.3. Συμπεράσματα.....	93
5.4. Εκπομπές αέριων ρύπων από Σ.Π.Η.Ε. στην Ε.Ε. τα έτη 1990-1999.....	94
5.5. Μετρήσεις εκπεμπόμενων ρύπων ΑΗΣ Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Λ.Κ.Π.-Α.).....	96
5.5.1. Αιωρούμενα σωματίδια (PM-10).....	97
5.5.2. Διοξείδιο του Θείου (SO ₂).....	98
5.5.3. Οξείδια του αζώτου (NO _x).....	99
5.5.4. Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO).....	100
5.5.5. Συμπεράσματα-σχόλια.....	101

Κεφάλαιο 6. Συστήματα και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	102
6.1. Γενικά.....	102
6.2. Αιολική ενέργεια.....	103
6.2.1 Από πού προέρχεται η αιολική ενέργεια.....	103
6.2.2 Πως λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες.....	104
6.2.3 Η ανεμογεννήτρια.....	106
6.2.4 Διαχείριση συστημάτων αιολικής ενέργειας.....	106
6.2.5 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού.....	107
6.2.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	109
6.2.7 Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.....	111
6.3. Ηλιακή ενέργεια.....	112
6.3.1 Η προέλευση των φωτοβολταϊκών.....	113
6.3.2 Τα είδη των φωτοβολταϊκών.....	114

6.3.3 Πως δουλεύουν τα φωτοβολταϊκά.....	116
6.3.4 Πλαίσια και συσκευές φωτοβολταϊκών.....	117
6.3.5 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	118
6.3.6 Μετατροπείς τάσης.....	119
6.3.7 Πόσο παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	120
6.4. Μικρά υδροηλεκτρικά έργα.....	121
6.4.1. Διαφορές μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ.....	122
6.4.1.1.Επιλογή τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.....	122
6.4.1.2. Πρόγραμμα εκμετάλλευσης και συνέπειες στη σύλληψη του μικρού ΥΗΕ.....	123
6.4.2. Δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ΥΗΣ στην Ελλάδα.....	125
6.4.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	127
6.4.4. Συμπεράσματα.....	128
6.5. Γεωθερμική ενέργεια.....	128
6.5.1 Σύντομο ιστορικό της γεωθερμίας.....	128
6.5.2. Σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμίας.....	131
6.5.3. Η φύση των γεωθερμικών πόρων.....	133
6.5.3.1 Η θερμική μηχανή της γης.....	133
6.5.3.2. Γεωθερμικά συστήματα.....	136
6.5.4. Χρήσεις των γεωθερμικών πόρων.....	141
6.5.5. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	142
6.5.6. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	145
6.6. Βιομάζα.....	149
6.6.1. Γενικά χαρακτηριστικά βιομάζας.....	149
6.6.2. Αεριοποίηση της βιομάζας.....	151
6.6.2.1. Παραγωγή μεθανόλης από βιομάζα.....	151
6.6.2.2. Συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας.....	152
6.6.2.3. Επεξεργασία του παραγόμενου αερίου.....	152
6.6.2.4. Σύγκριση της καύσης και της αεριοποίησης της βιομάζας.....	154
6.6.2.5. Προσπάθειες της Ε.Ε για την ανάπτυξη τεχνολογίας αεριοποίησης της βιομάζας	154
6.6.3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα στερεά απορρίμματα πτηνοτροφικών μονάδων.....	155
6.6.4. Επιπτώσεις της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.....	155
6.6.4.1. Οικονομικές επιπτώσεις.....	155
6.6.4.2. Κοινωνικές επιπτώσεις.....	156
6.6.4.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	156
6.6.5. Εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με χρήση βιοαερίου στην Ελλάδα.....	157
6.6.5.1. Θερμικός σταθμός Άνω λιοσίων.....	157
6.7. Κινητική ενέργεια κυμάτων.....	159
6.8 Ενέργεια από παλίρροιες	161
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα-επίλογος	162
Παράρτημα Α.....	164
Βιβλιογραφία.....	167

Ευρετήριο συντομογραφιών

Σ.Π.Η.Ε.: Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας
 Δ.Ε.Η.: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
 Α.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
 Η.Ε.: Ηλεκτρική Ενέργεια
 Ν.: Νόμος
 Υ.Α.: Υπουργική Απόφαση
 Κ.Υ.Α.: Κοινή Υπουργική Απόφαση
 Ρ.Α.Ε.: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
 Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.: Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
 Σ.τ.Ε.: Συμβούλιο της Επικρατείας
 Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση
 ΑΗΣ: Ατμοηλεκτρικός σταθμός
 Η/Φ: Ηλεκτρόφιλο
 ΥΗΣ: Υδροηλεκτρικός σταθμός
 Α/Γ: Ανεμογεννήτρια
 Φ/Β: Φωτοβολταϊκό
 ΥΗΕ: Υδροηλεκτρικά Έργα
 Κ.Α.Π.Ε.: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
 Χ.Δ.Α.: Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων
 Χ.Υ.Τ.Α.: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
 Η/Ζ: Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος
 Υ/Σ: Υποσταθμός
 Μ.Ο.: Μέσος Όρος
 Λ.Κ.Π.-Α.: Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου
 Υ.Π.: Υψηλή Πίεση
 Μ.Π.: Μέση Πίεση
 Χ.Π.: Χαμηλή Πίεση
 Υ/Θ: Υπέρθερμος Ατμός
 Α/Θ: Αύξηση θερμοκρασίας
 Ρ: Πίεση
 Η: Ύψος
 η: απόδοση
 Q: Παροχή νερού
 HDR: Hot Dry Rocks
 WAsP: Wind Atlas Analysis and Application Program
 PFC: Pulverized Fuel Combustion
 AFBC: Atmospheric Fluidized Bed Combustion
 CFBC: Circulating Fluidized Bed Combustion
 PFBC: Pressurized Fluidized Bed Combustion
 IGCC: Integrated Gasification Combined Cycles

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάστηκαν αφενός η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την τεχνολογία παραγωγής της ενέργειας αυτής με διαφορετικά είδη μορφών ενέργειας (συμβατικών και ανανεώσιμων) και αφετέρου οι επιπτώσεις της λειτουργίας αυτών στο περιβάλλον. Η εργασία επικεντρώθηκε στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον ελληνικό χώρο.

Ένα σημαντικό μέρος της εργασίας αποτέλεσε η λειτουργία των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μορφές ενέργειας στην Ελλάδα, και πιο συγκεκριμένα οι θερμικοί σταθμοί (κυρίως με καύσιμο τον εγχώριο λιγνίτη) και οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στους παραγόμενους ρύπους και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θερμικών σταθμών. Εξετάστηκαν αναλυτικά τόσο οι κυριότερες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες απομάκρυνσης και καταστροφής των εκπεμπόμενων ρύπων όσο και οι νέες τεχνολογίες βελτίωσης και απόδοσης της καύσης από θερμικούς σταθμούς. Στα πλαίσια αυτά παρουσιάστηκαν δεδομένα από την παρακολούθηση της εκπομπής του CO, CO₂, SO₂, NO_x και σωματιδίων PM-10 στην ατμόσφαιρα από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη κατά τα έτη 1990-1999 και στον ατμοηλεκτρικό σταθμό Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Λ.Κ.Π.-Α.).

Ένα μεγάλο κομμάτι της εργασίας αναφέρθηκε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εξετάστηκε η λειτουργία ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών συστημάτων, μικρών υδροηλεκτρικών έργων, θερμικών σταθμών με γεωθερμικό ρευστό ως πρώτη ύλη καθώς και τεχνολογίες που αφορούν τη χρήση των παραγώγων της βιομάζας (βιοαέριο), της κινητικής ενέργειας των κυμάτων και της ενέργειας των παλιρροιών.

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν την ανάγκη αύξησης του ποσοστού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και την ανάπτυξη νέων καινοτόμων αποτελεσματικότερων τεχνολογιών αντιρρύπανσης όσον αφορά τη βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου, την αποδοτικότερη καύση του και τη μείωση και δέσμευση των παραγόμενων ρύπων από τους θερμικούς σταθμούς.

Summary

In the present work the electricity power production in relation to the technology of its production using different energy sources as well as the environmental consequences of them were studied in Greece.

An important part of this study was the functionality of conventional power stations in Greece such as thermal stations (mainly with domestic lignite as fuel) and hydroelectric plants. Additional work was made for the environmental consequences of thermal stations. The most important technologies of removing and destroying produced air pollutants by thermal stations were examined. There were also presented the results of measurements for in European Union and in the thermal plant of Lignite Center Ptolemaida-Aminteo (L.C.P.-A.).

An other part of the study referred to electricity production systems and technologies using renewable energy sources. The function of wind generators, photovoltaic systems and small hydroelectric plants were examined. Another part of this work was the study of thermal stations using geothermal gas as fuel, technologies regarding the use of the biomass products (biogas), the kinetic power of waves and the tidal energy.

The conclusions of the current study are referring to the need of increasing the percentage of electricity production by renewable energy sources and the need of development of new, more effective technologies for reducing the pollution by thermal stations.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την μελέτη των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τις επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον. Στα πλαίσια αυτά εξετάστηκε αναλυτικά η λειτουργία των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης όλων των μορφών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, εκτός από τη χρήση πυρηνικής ενέργειας, λόγω του ότι η εργασία επικεντρώνεται κυρίως στις μορφές ενέργειας που μπορούν να βρουν εφαρμογή στην Ελλάδα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή της πορείας του ανθρώπου σε σχέση με την εκμετάλλευση των ενεργειακών πηγών, την εμφάνιση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με αυτή.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα είδη των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών, στην εγκατεστημένη ισχύ των σταθμών στην Ελλάδα και στην παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο επισημαίνεται το νομοθετικό καθεστώς που διέπει τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επίσης γίνεται αναφορά στο Πρωτόκολλο του Κυότο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η λειτουργία των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μορφές ενέργειας (θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Η εργασία επικεντρώθηκε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο τον εγχώριο λιγνίτη και δεν ασχολήθηκε με την χρήση φυσικού αερίου και νηξελοκινητήρων.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στη ρύπανση του περιβάλλοντος από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Επίσης παρουσιάζονται τα επεξεργασμένα αποτελέσματα μετρήσεων εκπεμπόμενων ρύπων από τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά τα έτη 1990-1999 και από τον ΑΗΣ Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου κατά τα έτη 1998-2002.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των επιπτώσεων αυτών στο περιβάλλον.

Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και προτείνονται λύσεις στο εξεταζόμενο θέμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ

“ Η κυριαρχία μας πάνω στη φύση συνίσταται απλά στο ότι μόνο ο άνθρωπος έχει την ικανότητα να μελετά τους νόμους της φύσης και να τους χρησιμοποιεί σωστά ”

Ένγκελς

Η βασικότερη αιτία της εξέλιξης του ανθρώπου ως λογικού όντος στον πλανήτη μας είναι η δυνατότητα του να μπορεί να ανακαλύπτει και να εκμεταλλεύεται νέες πηγές ενέργειας με σκοπό την παραπέρα κοινωνική του αναβάθμιση (υλική και πνευματική) και την βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης.

Κάθε βήμα προς τα εμπρός απαιτούσε, απαιτεί και θα απαιτεί, εκτός από την απαραίτητη επιστημονική- τεχνική- οικονομική- πολιτιστική πρόοδο, και σημαντική διεύρυνση της ενεργειακής βάσης. Δηλαδή μόνο η επινόηση νέων μηχανών, συσκευών και νέων επιστημονικών- τεχνολογικών επιτευγμάτων δεν αρκεί, αλλά πρέπει να υπάρχει διαθέσιμη και η απαραίτητη ενέργεια για να τροφοδοτήσει τη λειτουργία τους. Για το λόγο αυτό η ενεργειακή εξασφάλιση ήταν, είναι και θα είναι το κυριότερο μέλημα της ανθρωπότητας.

Η ενέργεια είναι ένας από τους συντελεστές παραγωγής και ευημερίας και μάλιστα ο σπουδαιότερος αφού σε συνδυασμό με την πρόοδο της επιστήμης και την τεχνολογική ανάπτυξη:

1. Άνοιξε τους δρόμους για την παραγωγή αφθονότερων, καλύτερων και φθηνότερων προϊόντων και υπηρεσιών.
2. Οδήγησε στη παραγωγή νέων προϊόντων και υπηρεσιών.
3. Επέτρεψε τη δημιουργία νέων και συνέχεια βελτιούμενων τεχνικών παραγωγής.
4. Υποκατέστησε τη βαριά, χειρωνακτική, εκτελεστική και μονότονη εργασία.
5. Επέτρεψε στον άνθρωπο να ασχοληθεί με εργασία καλύτερης ποιότητας (επιστημονική, πνευματική, υπεύθυνα δημιουργική) ενώ δημιουργήθηκαν νέες μορφές εξειδικευμένης εργασίας.
6. Μείωσε δραστικά της ώρες εργασίας και πολλαπλασίασε την παραγωγικότητα της.

Το ύψος της εκρηκτικής αύξησης της παραγωγικότητας της εργασίας λόγω της αυξανόμενης χρήσης της ενέργειας γίνεται κατανοητό αν συγκρίνουμε την μυϊκή ισχύ του ανθρώπου που είναι 1/6 HP ή 0,1 KW με την ισχύ μιας σύγχρονης τουρμπίνας 1000 MW (10.000.000 άνθρωποι) ή με την ισχύ του κινητήρα διαστημικού πυραύλου 3GW (30.000.000 άνθρωποι).

1.1. ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΡΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Όσες φορές εμφανίζεται στενότητα κάποιας ενεργειακής πηγής τότε μιλάμε για ενεργειακή κρίση. Η στενότητα της ενέργειας μπορεί να είναι πραγματική -όπως π.χ. η στενότητα καύσιμου ξύλου του 17^{ου} αιώνα- ή τεχνητή όπως οι κρίσεις 1973 και 1979 που προκλήθηκαν από μια ολιγοπωλιακή κατακόρυφη άνοδο των τιμών του αργού πετρελαίου. Αυτές οι πρόσφατες ενεργειακές κρίσεις είναι που επανέφεραν στο προσκήνιο τις έννοιες της ενεργειακής κρίσης και του ενεργειακού προβλήματος, τις

μέχρι τότε ξεχασμένες από τον σύγχρονο τεχνολογικό άνθρωπο, τον χορτασμένο από την άφθονη και φθηνή ενέργεια που μέχρι τότε του προσέφερε το αργό πετρέλαιο.

Η ενεργειακή κρίση δεν είναι κάτι καινούριο. Όταν ο πρωτόγονος άνθρωπος περπάτησε όρθιος και άρχισε να διαβιεί σαν λογικό ον διαπίστωσε ότι η δική του μυϊκή δύναμη, που είχε σαν πηγή ενέργειας την τροφή του, ήταν ανεπαρκής για την παραπέρα επιβίωση και ανάπτυξή του. Άρχισε λοιπόν να αναζητά νέες πηγές ενέργειας και τα εργαλεία για να τις εκμεταλλεύεται. Από τότε ενεργειακές κρίσεις τον συνοδεύουν σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας του. Τα πιο αποφασιστικά σημεία εξέλιξης του ανθρώπινου πολιτισμού έχουν σφραγισθεί από κάποια ενεργειακή κρίση. Έχει αποδειχθεί ιστορικά ότι η ανθρωπότητα εντείνει την αναζήτηση νέων ενεργειακών πηγών αλλά και την προσπάθεια αποδοτικότερης αξιοποίησης των πηγών που ήδη υπάρχουν τότε μόνο όταν, κάτω από την πίεση του φάσματος μιας ενεργειακής κρίσης, αντιλαμβάνεται την ανεπάρκεια της ενεργειακής της βάσης σε σχέση με τις αυξανόμενες ενεργειακές της ανάγκες. Τέτοιες ενεργειακές κρίσεις εμφανίστηκαν μέχρι σήμερα πολλές και ξεπεράστηκαν όλες αποτελεσματικά αν και όχι πάντα εντελώς ανώδυνα.

Όταν ο κυνηγός άνθρωπος της παλαιολιθικής εποχής άρχισε να δυσκολεύεται να βρει τροφή η κρίση που παρουσιάστηκε τον οδήγησε στον καλλιεργητή νεολιθικό άνθρωπο. Χιλιάδες χρόνια αργότερα η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία πλήττεται από τη στενότητα καυσόξυλου στην περιοχή της Μεσογείου, γεγονός που ανάγκασε τους μεταλλουργούς να κινηθούν προς τα βόρεια (Γερμανικά δάση) και έτσι προς το τέλος της αυτοκρατορίας οι Ρωμαίοι αναγκάζονται να εισάγουν μέταλλα από εκείνους που μέχρι τότε ήταν μαθητές τους σε αυτή την τέχνη.

Τον 16^ο αιώνα μια νέα στενότητα καυσόξυλου δίνει το κέντρισμα για να μπουν οι βάσεις της Βιομηχανικής επανάστασης. Μπαίνοντας στην Αναγέννηση παρατηρείται η κατανάλωση τεραστίων ποσοτήτων ξύλου. Από τα τέλη του 16^{ου} έως τα μέσα του 17^{ου} αιώνα ο πληθωρισμός πλήττει όλες τις ευρωπαϊκές χώρες. Όλες οι τιμές γενικά τριπλασιάστηκαν ενώ η τιμή του ξύλου οκταπλασιάστηκε (κατάσταση παρόμοια των σύγχρονων πετρελαϊκών κρίσεων).

Η επόμενη κρίση παρουσιάστηκε όταν κατά την περίοδο των πολέμων του Βοναπάρτη (1803-1815) αυξήθηκε υπερβολικά η τιμή της βρώμης. Εξ αιτίας αυτής της κρίσης επιταχύνθηκε η πλατιά εφαρμογή της ατμομηχανής ενώ ο άνθρακας αντικατέστησε το ξύλο ως καύσιμο.

Στις πρόσφατες ενεργειακές κρίσεις 1973-1979 Αμερικανοί και Ευρωπαίοι ανησυχούν μήπως δεν έχουν αρκετά καύσιμα (για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βαριά βιομηχανία). Η κρίση του 1973 δεν οφείλεται σε πραγματική στενότητα πετρελαίου αλλά σε ολιγοπωλιακή αύξηση της τιμής του. Το γεγονός αυτό προκάλεσε γενική αύξηση τιμών και κλονισμό της παγκόσμιας οικονομίας παράλληλα όμως οδήγησε σε εξοικονόμηση ενέργειας και εξερεύνηση νέων ενεργειακών πηγών.

Σήμερα τέλος, 30 περίπου χρόνια μετά η τιμή του πετρελαίου έχει επανέλθει στα προ κρίσης επίπεδα, κάτι που επιβεβαιώνει την έλλειψη ορθολογικής τιμολόγησης και κοστολόγησης της ενέργειας σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

1.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΡΙΣΗ

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 άρχισε να εκδηλώνεται όλο και πιο σαφής η περιβαλλοντική κρίση στον πλανήτη μας. Όξινη βροχή, αφανισμός ειδών χλωρίδας και πανίδας, εξαφάνιση τροπικών και μη δασών, φωτοχημική ρύπανση, αιθαλομίχλη, η τρύπα του όζοντος, ραδιενεργός ρύπανση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, χαοτικά καιρικά φαινόμενα, ερήμωση μεγάλων τμημάτων του πλανήτη είναι μερικές μόνο

πτυχές αυτής της κρίσης στην οποία εισερχόμαστε. Το επείγον σήμα κινδύνου που εκπέμπεται από παντού για τη σωτηρία του πλανήτη ανάγκασε τις κυβερνήσεις των ανεπτυγμένων κρατών να δεσμευτούν ότι θα πάρουν μέτρα για τον περιορισμό της εκπομπής 6 αέριων ρύπων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012 σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (πρωτόκολλο Κυότο).

Η ανισοκατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στον κόσμο είναι άλλη μια σημαντική παράμετρος που οδηγεί σε στρεβλώσεις αφού:

- OECD: το 30% του πληθυσμού καταναλώνει το 80% της ενέργειας
- Η.Π.Α.: το 6% του πληθυσμού καταναλώνει το 35% της ενέργειας.

Τέλος, η ίδια η εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, όσο και αν φαντάζει μακρινό σενάριο για κάποιους, δεν παύει να είναι μια αμείλικτη και εφιαλτική πραγματικότητα, η εμφάνιση της οποίας αποτελεί μόνο θέμα χρόνου. Με την προοπτική του, ότι στο άμεσο μέλλον ο μη ανεπτυγμένος κόσμος θα επιδιώξει συμμετοχή στην ανάπτυξη και επομένως και στην κατανάλωση ενέργειας, είναι προφανές ότι τόσο ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας όσο και ο ρυθμός εξάντλησης αποθεμάτων καυσίμων αλλά και ο ρυθμός ρύπανσης και καταστροφής του περιβάλλοντος θα πάρουν εκρηκτικές και ανεξέλεγκτες διαστάσεις.

Είναι φανερό ότι πρέπει άμεσα να ξεκινήσει η διαδικασία σταδιακής υποκατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας με ανανεώσιμες παράλληλα με την εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών κατά την παραγωγή ενέργειας από συμβατικά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο) και ταυτόχρονα με την ορθολογικότερη και αποδοτικότερη διαχείριση ενέργειας κατά την παραγωγή και την κατανάλωση.

Αν δεν γίνει αυτό υπάρχει κίνδυνος το ενεργειακό, οικονομικό και περιβαλλοντικό μέλλον της ανθρωπότητας να ακολουθήσει μια μη αναστρέψιμη πορεία προς τη μεγαλύτερη κρίση της ιστορίας της.

Έτσι λοιπόν για να οδηγήσει σε ένα καλύτερο μέλλον η σύγχρονη ενεργειακή-κοινωνική- περιβαλλοντική επανάσταση θα πρέπει να καταφέρει να επιτύχει τη συνύπαρξη των λεγόμενων “ three E’s”(ENERGY-ECONOMY-ECOLOGY).

1.3. Η ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το 1889 φτάνει το "ηλεκτρικό" στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργοληψιών κατασκευάζει στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει κι αυτή το ηλεκτρικό φως καθώς Βελγική Εταιρεία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροχιοδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρείες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρεία Thomson - Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση κι άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους. Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια.

Το 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα 400 περίπου εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας που, φυσικά, εισάγονταν από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό λοιπόν ήταν ένα πολυτελείας αγαθό, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Για να εξαπλωθεί ομοιόμορφα η ηλεκτρική ενέργεια σε όλη τη χώρα και για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στη βιομηχανία όσο και στη ύπαιθρο, έπρεπε να υπάρξουν οι εξής προϋποθέσεις:

- Αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, που απαιτούσε όμως τεράστιες επενδύσεις, οι οποίες δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από τους μεμονωμένους βιομηχάνους παραγωγής ενέργειας.
- Ενοποίηση της παραγωγής σε ενιαίο διασυνδεδεμένο δίκτυο, ώστε τα φορτία να επιμερίζονται σε εθνική κλίμακα
- Ύπαρξη ενιαίου φορέα που θα επέτρεπε τον επιμερισμό του κόστους ανάμεσα στις κερδοφόρες και ζημιογόνες περιοχές.

Τις προϋποθέσεις αυτές κάλυψε με τον πλέον επιτυχή τρόπο η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Έτσι τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η ΔΕΗ, για να λειτουργήσει "χάριν του δημοσίου συμφέροντος" με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, να κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή.

Αμέσως με την ίδρυσή της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας. Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σιγά - σιγά, η ΔΕΗ εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της.

Σ' όλα αυτά τα χρόνια της παρουσίας της, αγωνίστηκε και πέτυχε την ενεργειακή αυτονομία της χώρας και έφερε σε πέρας το σπουδαίο έργο του εξηλεκτρισμού της δημιουργώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς ελληνικής βιομηχανίας. Το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1. ΕΙΔΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Σ.Π.Η.Ε.)

Στον κόσμο

Στη σημερινή εποχή όπου η ενεργειακή παραγωγή αποτελεί πρωταρχικό μέλημα για κάθε κράτος, οι τεχνολογίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συνεχώς αναβαθμίζονται και αναπτύσσονται, με αποτέλεσμα αυτή την στιγμή να υπάρχει ένα φάσμα μερικών δεκάδων διαφορετικών ειδών Σ.Π.Η.Ε. με κριτήριο διαχωρισμού την τεχνολογία επεξεργασίας της ενεργειακής πηγής, η οποία αποτελεί την βάση της παραγωγής.

Έτσι λοιπόν θα μπορούσαμε να κάνουμε ένα διαχωρισμό αναφέροντας τις κυριότερες από αυτές τις τεχνολογίες, οι οποίες είναι:

-Πυρηνικοί σταθμοί όπου η ενέργεια αποδίδεται από την σχάση ουρανίου U235 και άλλων ισοτόπων του.

-Θερμικοί σταθμοί όπου η ενέργεια αποδίδεται από την ύλη που χρησιμοποιείται για καύση (στερεά, υγρά ή αέρια) όπως λιγνίτες, τύρφη, λιθάνθρακες, φυσικό αέριο, μαζούτ, diesel κλπ.

-Υδροηλεκτρικοί σταθμοί όπου η ενέργεια αποδίδεται από την δυναμική ενέργεια του νερού η οποία μετατρέπεται σε κινητική μέσω υδατόπτωσης.

-Σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) όπως:

- ηλιακά-φωτοβολταϊκά συστήματα όπου η ενέργεια αποδίδεται από τον ήλιο,
- αιολικά πάρκα όπου η ενέργεια αποδίδεται από τον άνεμο,
- μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα όπου η ενέργεια αποδίδεται από το νερό,
- θερμικοί σταθμοί με καύσιμη ύλη τη βιομάζα,
- γεωθερμικοί σταθμοί με χρήση ενεργειακής πηγής τα γεωθερμικά πεδία
- συστήματα που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια των κυμάτων και την παλιρροϊκή ενέργεια.

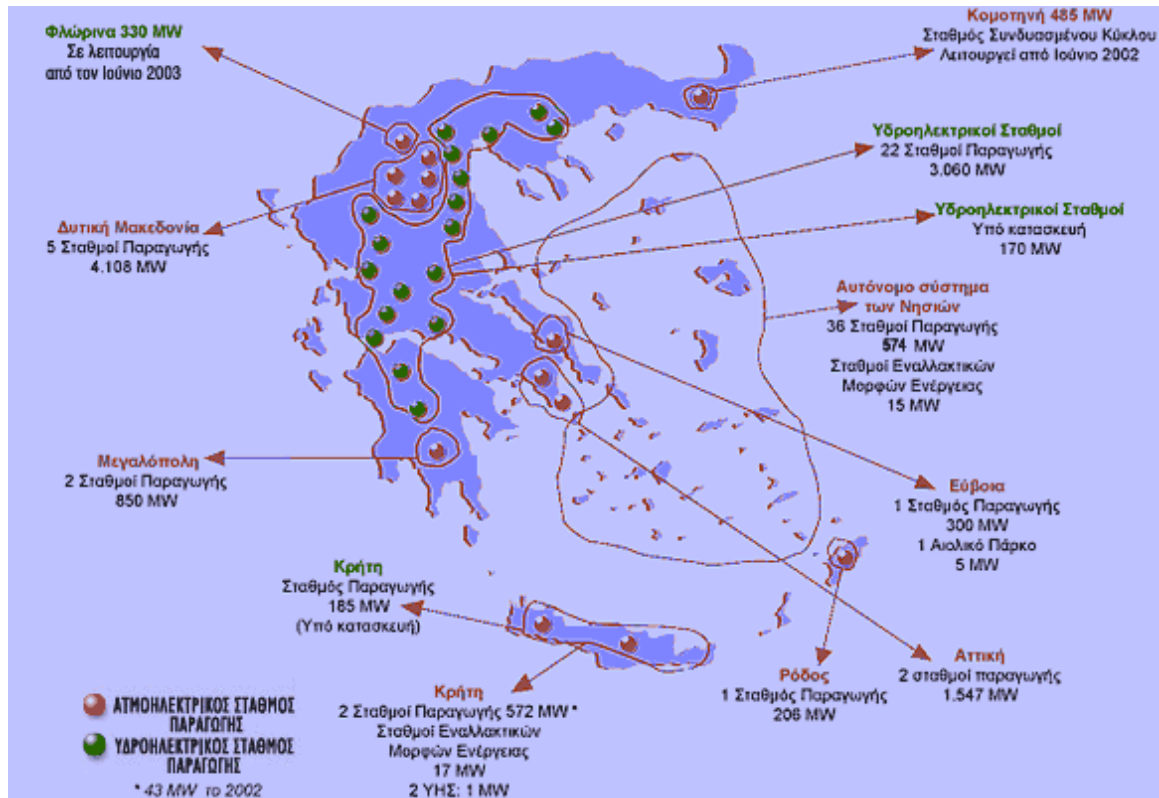
Στην Ελλάδα

Στον ελλαδικό χώρο οι Σ.Π.Η.Ε. που λειτουργούν είναι ποικίλων τεχνολογιών και χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό εκείνες τις ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν στη χώρα. Το συντριπτικό ποσοστό αυτών των σταθμών ανήκει στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, ενώ τα τελευταία χρόνια με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας έχουν αρχίσει να γίνονται δειλά κάποια πρώτα βήματα από ιδιωτικές πρωτοβουλίες κυρίως σε μονάδες παραγωγής με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

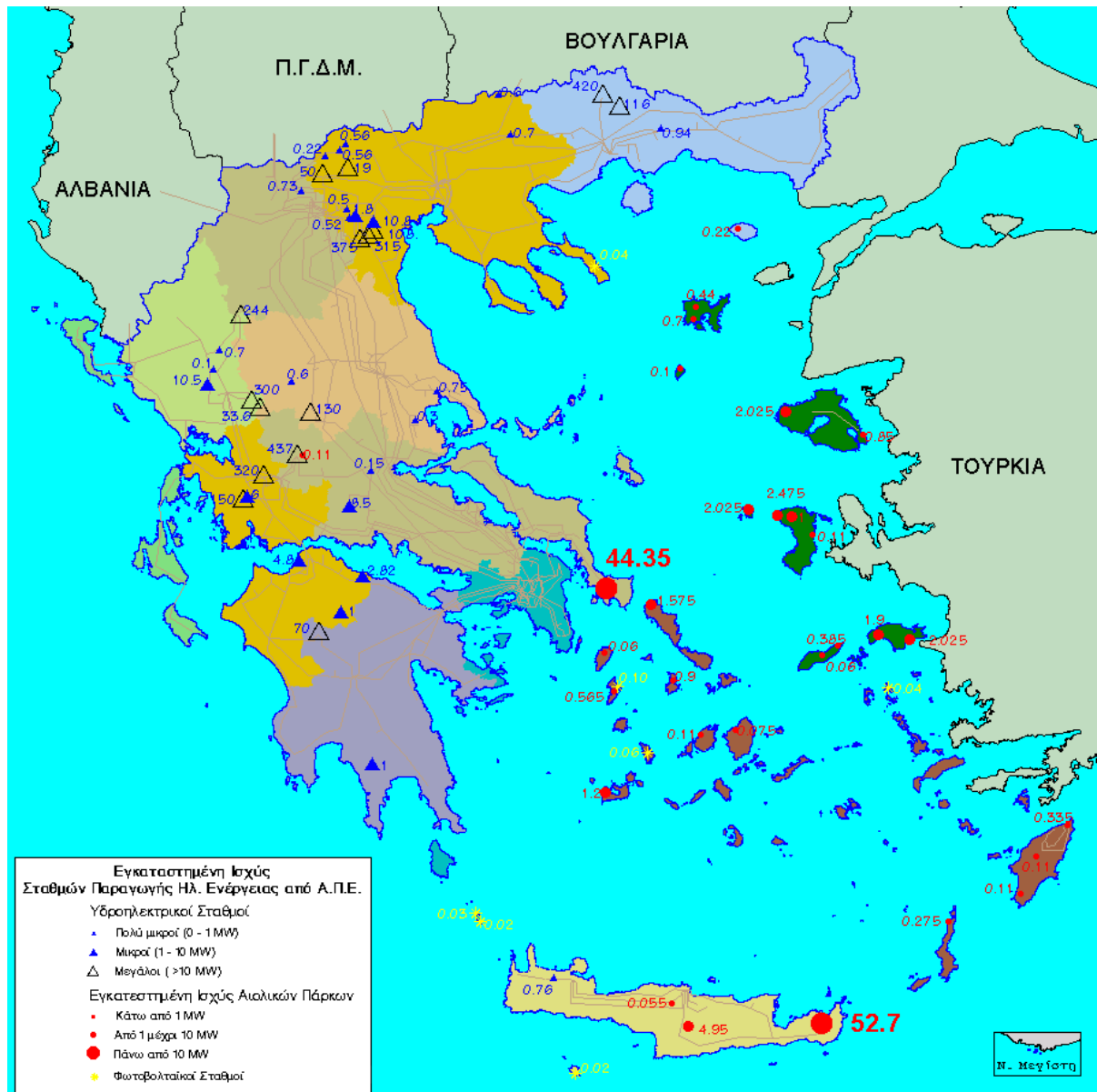
Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα λοιπόν βρίσκεται την τελευταία δεκαετία σε φάση σημαντικών αλλαγών. Η διεύθυνση του φυσικού αερίου, η κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, η προώθηση των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα του. Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις των νέων αυτών δεδομένων στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, στη μείωση της εξάρτησης της από το εισαγόμενο πετρέλαιο με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στην εθνική οικονομία, στην εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, στην αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας και τέλος (το κυριότερο) στην προστασία του περιβάλλοντος.

2.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος της χώρας μας όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζονται με την υποδομή του, το είδος και τη σύνθεση των επιμέρους τομέων του παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες 2.1-2.7. Το σχήμα 2.1 παρουσιάζει όλους τους υπάρχοντες ατμοηλεκτρικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ενώ στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύ των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.



Σχήμα 2.1: Εγκατεστημένοι ατμοηλεκτρικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής στην Ελλάδα το έτος 2002[1].



Σχήμα 2.2: Εγκατεστημένη ισχύς Σ.Π.Η.Ε. από Α.Π.Ε [2].

ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Πίνακας 2.1: Υφιστάμενοι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας με συμβατικά καύσιμα [2].

ΟΝΟΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΑΣΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ	ΑΤΤΙΚΗ	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	2	360
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	5	1587
ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	ΕΥΒΟΙΑ	ΜΑΖΟΥΤ	4	380
ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	2	600
ΛΑΥΡΙΟΥ	ΑΤΤΙΚΗ	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	2	736
ΛΑΥΡΙΟΥ	ΑΤΤΙΚΗ	ΜΑΖΟΥΤ	2	454

ΛΙΝΟΠΕΡΑ-ΜΑΤΑ	ΚΡΗΤΗ	ΜΑΖΟΥΤ, ΝΤΙΖΕΛ	12	193
ΑΗΣ Λ.Κ.Π.-Α.	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	2	43
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	4	850
ΚΑΡΔΙΑΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	4	1200
ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	ΘΡΑΚΗ	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΣΥΝΔ. ΚΥΚΛΟΥ	485
ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	4	620
ΡΟΔΟΥ	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	ΜΑΖΟΥΤ, ΝΤΙΖΕΛ	10	206
ΜΕΛΙΤΗΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	1	330
ΧΑΝΙΩΝ	ΚΡΗΤΗ	ΝΤΙΖΕΛ	8*	348

*εκ των οποίων οι 2 αεριοστρόβιλοι και ένας ατμοστρόβιλος ανήκουν σε συνδυασμένου κύκλου

ΜΕΓΑΛΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (ΥΗΣ)

Πίνακας 2.2: Εγκατεστημένοι μεγάλοι ΥΗΣ στη Ελλάδα [2].

ΟΝΟΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΓΡΑΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	2	50
ΕΔΕΣΣΑΙΟΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	1	19
ΑΣΩΜΑΤΩΝ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	2	108
ΜΑΚΡΟΧΩΡΙΟΥ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	3	11
ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	3	375
ΣΦΗΚΙΑΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	3	315
ΘΗΣΑΥΡΟΥ	ΘΡΑΚΗΣ	3	384
ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗΣ	ΘΡΑΚΗΣ	2	116
ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	ΚΕΝΤΡ. ΕΛΛΑΔΑ	4	320
ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ	ΚΕΝΤΡ. ΕΛΛΑΔΑ	4	437
ΠΛΑΣΤΗΡΑ	ΚΕΝΤΡ. ΕΛΛΑΔΑ	3	130
ΣΤΡΑΤΟΥ Ι	ΚΕΝΤΡ. ΕΛΛΑΔΑ	2	150
ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι & ΙΙ	ΗΠΕΙΡΟΣ	5	332
ΠΗΓΩΝ ΑΩΟΥ	ΗΠΕΙΡΟΣ	2	210
ΛΟΥΡΟΥ	ΗΠΕΙΡΟΣ	3	10
ΛΑΔΩΝΑ	ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	2	70

ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πίνακας 2.3: Αιολικά πάρκα στην Ελλάδα [2].

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ Α/Γ*	ΙΣΧΥΣ (KW)	Α/Γ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟ (ΣΑΜΟΣ)	9	25		2,025
ΚΑΛΥΒΑΡΙ (ΑΝΔΡΟΣ)	7	225		1,575
ΜΕΛΑΝΙΟΣ (ΧΙΟΣ)	11	225		2,475
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ (ΨΑΡΑ)	9	225		2,025
ΣΙΓΡΙ (ΛΕΣΒΟΣ)	9	225		2,025
ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ (ΚΡΗΤΗ)	17	300		5,1
ΜΑΡΜΑΡΙ (ΕΥΒΟΙΑ)	17	300		5,1
ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	4	55		0,22
ΠΕΡΔΙΚΙ (ΙΚΑΡΙΑ)	7	55		0,385
ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ (ΚΑΡΠΑΘΟΣ)	5	55		0,275
ΒΙΓΛΑ (ΔΗΜΝΟΣ)	7	100		0,7
ΒΟΥΝΑΡΟΣ (ΔΗΜΝΟΣ)	8	55		0,44
ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠΟΣ (ΣΑΜΟΣ)	9	100		0,9
ΠΟΤΑΜΙΑ (ΧΙΟΣ)	10	100		1
ΚΥΘΝΟΣ	5	33		0,165
ΚΟΥΚΟΥΒΑΓΙΑ (ΚΥΘΝΟΣ)	1	500		0,5
ΞΗΡΟΛΙΜΝΗ (ΚΡΗΤΗ)	17	600		10,2
ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ (ΚΡΗΤΗ)	3	500		1,5
ΣΥΡΟΣ	1	110		0,11
ΚΕΑ	1	60		0,06
ΠΑΡΟΣ	1	110		0,11
ΚΩΣ	1	60		0,06
ΚΑΤΑΒΙΑ (ΡΟΔΟΣ)	1	110		0,11
ΑΤΑΒΥΡΟΣ (ΡΟΔΟΣ)	1	110		0,11
ΣΥΡΟΣ	1	90		0,09
ΑΝΩΓΙΑ (ΚΡΗΤΗ)	1	55		0,055
ΡΟΔΟΣ	1	150		0,15
ΡΟΔΟΣ	1	110		0,11
ΡΟΔΟΣ	1	75		0,075
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	1	110		0,11
ΒΡΟΝΤΑΔΟΣ (ΧΙΟΣ)	1	110		0,11
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	3	300 225		0,825

ΚΟΥΤΣΟΥΝΟΡΑΧΗ (ΜΗΛΟΣ)	2	600	1,2
ΕΓΓΑΡΕΣ (ΝΑΞΟΣ)	1	75	0.075
ΖΗΡΟΣ (ΚΡΗΤΗ)	1	500	0.5
ΑΝΩ ΣΥΡΟΣ	1	200	0.2
ΠΛΑΚΟΚΕΡΑΤΙΑ (ΚΡΗΤΗ)	17	600	10,2
ΣΥΡΟΣ	1	500	0,5
ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	1	100	0,1
ΜΑΡΜΑΡΙ (ΕΥΒΟΙΑ)	2	500 250	0,75
ΧΑΝΔΡΑΣ (ΚΡΗΤΗ)	18	550	9,9
ΜΕΓΑΛΗ ΒΡΥΣΗ (ΚΡΗΤΗ)	9	550	4,95
ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠΟΣ (ΣΑΜΟΣ)	2	250 750	1
ΣΗΤΕΙΑ (ΚΡΗΤΗ)	20	500	10
ΣΗΤΕΙΑ (ΚΡΗΤΗ)	10	500	5
ΣΗΤΕΙΑ (ΚΡΗΤΗ)	20	500	10
ΠΟΛΥΠΟΤΑΜΟΣ (ΕΥΒΟΙΑ)	2	750	1,5
ΜΟΜΙΛΙ (ΕΥΒΟΙΑ)	1	400	0,4
ΜΑΚΡΥΡΑΧΗ (ΕΥΒΟΙΑ)	40	600	24
ΑΓ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ (ΕΥΒΟΙΑ)	21	600	12,6
ΤΣΟΥΚΑ (ΕΥΒΟΙΑ)	16	750	12
ΣΤΥΡΑ (ΕΥΒΟΙΑ)	101	600	60,6
ΜΠΟΥΡΛΑΡΙ (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)	13	600	7,8
ΑΓ. ΜΑΡΙΝΑ (ΤΗΝΟΣ)	1	400	0,4
ΜΑΡΜΑΡΙ (ΕΥΒΟΙΑ)	2	500 280	0,78
ΠΟΛΥΠΟΤΑΜΟΣ (ΕΥΒΟΙΑ)	20	600	12
ΑΝΩ ΜΕΡΑ (ΜΥΚΟΝΟΣ)	1	300	0,3
ΕΥΒΟΙΑ	10	500	5
ΠΥΡΓΑΡΙ (ΕΥΒΟΙΑ)	9	600	5,4
ΗΛΙΟΛΟΥΣΤΗ (ΕΥΒΟΙΑ)	10	600	6
ΖΑΡΑΚΕΣ (ΕΥΒΟΙΑ)	39	600	23,4
ΠΑΡΑΛΙΑ ΖΑΡΑΚΩΝ(ΕΥΒΟΙΑ)	5	600	3
ΑΓ. ΠΑΝΤΕΣ (ΣΑΜΟΣ)	1	750	0,75
ΡΟΧΙΑΔΕΣ (ΧΙΟΣ)	1	280	0,28
ΣΤΡΩΤΟΣ (ΣΑΜΟΣ)	2	600	1,2
ΛΑΥΡΙΟ (ΑΤΤΙΚΗ)	4	500	2

ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ (ΕΥΒΟΙΑ)	17	660	11,22
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	1	500	0,5
ΤΣΙΛΙΚΩΚΑ (ΕΥΒΟΙΑ)	17	600	10,2

*Ανεμογεννήτριων

ΜΙΚΡΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (<10 MW)

Πίνακας 2.4: Εγκατεστημένοι μικροί ΥΗΣ (<10 MW) στην Ελλάδα [2].

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΒΕΡΜΙΟ Ι (ΗΜΑΘΙΑ)	1,8
ΓΚΙΩΝΑ (ΦΩΚΙΔΑ)	8,5
ΓΛΑΥΚΟΣ (ΑΧΑΙΑ)	4,8
ΣΤΡΑΤΟΣ ΙΙ (ΑΙΤ/ΝΙΑ)	6
ΤΣΙΒΛΟΣ (ΑΧΑΙΑ)	2,8
ΑΓ. ΜΑΡΙΝΑ (ΛΑΚΩΝΙΑ)	1
ΚΛΕΙΤΟΡΙΑ (ΑΧΑΙΑ)	1

ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΟΙ ΥΗΣ (<1 MW)

Πίνακας 2.5: Εγκατεστημένοι πολύ μικροί ΥΗΣ (<1 MW) στην Ελλάδα [2].

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΓΓΙΣΤΡΟ (ΣΕΡΡΕΣ)	0,6
ΒΕΡΜΙΟ ΙΙ (ΗΜΑΘΙΑ)	0,6
ΒΕΡΜΙΟ ΙV (ΗΜΑΘΙΑ)	0,5
ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ (ΚΑΒΑΛΑ)	0,9
ΓΟΡΓΟΠΟΤΑΜΟΣ (ΦΘΙΩΤΙΔΑ)	0,2
ΣΕΡΡΕΣ	0,7
ΑΓΙΑ (ΧΑΝΙΑ)	0,3
ΑΛΜΥΡΟΣ (ΜΑΓΝΗΣΙΑ)	0,3
ΛΟΥΤΡΑΚΙ (ΠΕΛΛΑ)	0,6
ΒΟΡΕΙΝΟ (ΠΕΛΛΑ)	0,6
ΣΑΡΑΚΗΝΟΣ (ΜΑΓΝΗΣΙΑ)	0,8
ΖΛΑΤΙΝΟ (ΠΕΛΛΑ)	0,2

ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ (ΠΕΛΛΑ)	0,2
ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ (ΠΕΛΛΑ)	0,1
ΜΟΥΖΑΚΙΟ (ΚΑΡΔΙΤΣΑ)	0,6
ΚΑΤΣΑΝΟΧΩΡΙΑ (ΙΩΑΝΝΙΝΑ)	0,2
ΓΚΟΥΡΑ (ΙΩΑΝΝΙΝΑ)	0,7
ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ (ΠΕΛΛΑ)	0,5
ΑΡΙΔΑΙΑ (ΠΕΛΛΑ)	0,8
ΒΟΡΙΝΟ (ΠΕΛΛΑ)	0,6
ΠΛΑΤΑΝΑΚΙ (ΗΛΕΙΑ)	1,3
ΠΛΑΤΑΝΑΚΙ (ΗΛΕΙΑ)	1,3
ΓΚΟΥΡΑ (ΙΩΑΝΝΙΝΑ)	1

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

Πίνακας 2.6: Σταθμοί φωτοβολταϊκών στοιχείων στην Ελλάδα [2].

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΚΥΘΝΟΣ	0,1
ΑΡΚΟΙ	0,038
ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	0,025
ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	0,02
ΓΑΥΔΟΣ	0,02
ΑΓ. ΟΡΟΣ	0,045
ΣΙΦΝΟΣ	0,06
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	0,008
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0,007
ΠΑΡΟΣ	0,01

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Το παραγόμενο βιοαέριο προέρχεται από την αναερόβια χώνευση της λάσπης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων

Πίνακας 2.7: Σταθμοί που χρησιμοποιούν βιοαέριο ως καύσιμο για ηλεκτροπαραγωγή ή συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας στην Ελλάδα [2]

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0,24
ΗΡΑΚΛΕΙΟ (ΚΡΗΤΗ)	0,193
ΧΑΝΙΑ (ΚΡΗΤΗ)	0,166
ΨΥΤΑΛΛΕΙΑ (ΑΤΤΙΚΗ)	7400

Το 2002, η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανήλθε σε 12236 MW, αυξημένη κατά 6,8 % σε σχέση με το 2001. Το 2003 μία επιπλέον αύξηση κατά 3,6 % έφερε το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος στα 12679MW όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [3].

	MW				ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ (%)		
	2000	2001	2002	2003	01/00	02/01	02/03
ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΗ ΧΩΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ							
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ							
ΚΑΡΒΟΥΝΟ	4908	4933	4958	5288	0,51	0,51	6,66
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	777	771	858	858	-0,72	11,20	0,00
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	1100	1103	1693	1693	0,25	53,54	0,00
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	6785	6807	7509	7839	0,33	10,31	4,39
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ							
ΜΙΚΡΟΙ(1-10 MW)	24	31	35	38	29,17	12,90	8,57
ΜΕΓΑΛΟΙ(>10MW)	3039	3039	3039	3039	0,00	0,00	0,00
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	3063	3070	3074	3077	0,23	0,13	0,10
ΑΛΛΕΣ ΑΠΕ	137	199	217	308	45,65	8,58	42,40
<u>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</u>	9985	10077	10799	11224	0,92	7,17	3,93
ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ							
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ							
ΚΑΡΒΟΥΝΟ	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	1290	1315	1365	1365	1,94	3,80	0,00
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	1290	1315	1365	1365	1,94	3,80	0,00
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ							
ΜΙΚΡΟΙ(1-10 MW)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,00	0,00	0,00
ΜΕΓΑΛΟΙ(>10MW)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,00	0,00	0,00
ΑΛΛΕΣ ΑΠΕ	76,3	78,8	83	107,1	3,28	5,33	29,04
<u>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</u>	1366,6	1394,1	1448,3	1472,4	2,01	3,89	1,66
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	11351,5	11470,6	12247,7	12696,6	1,05	6,77	3,67

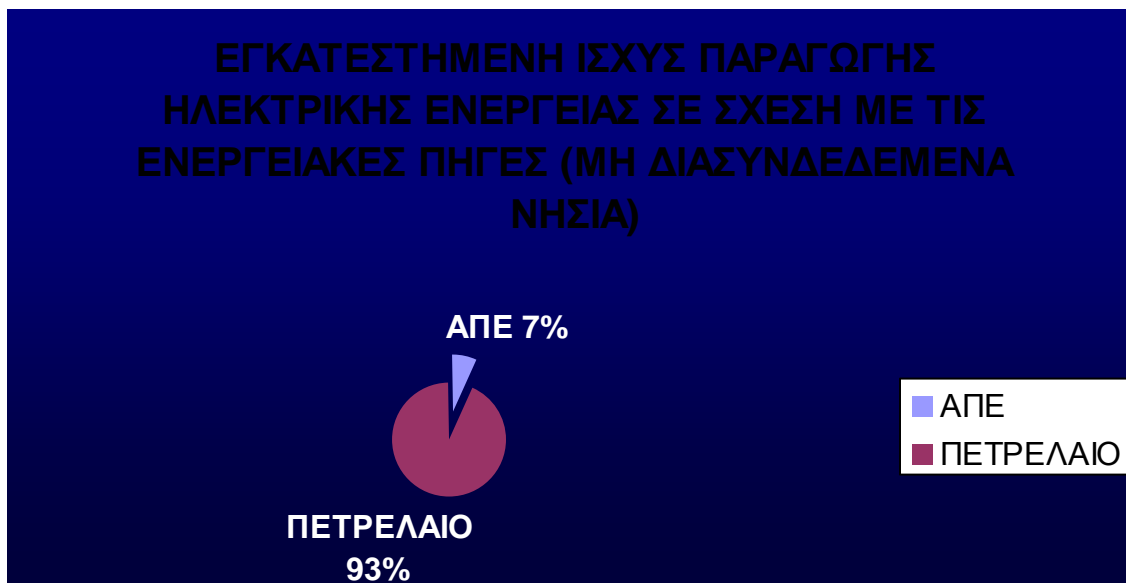
Από αυτό το σύνολο εγκατεστημένης ισχύος το 88 % βρίσκεται στην ηπειρωτική χώρα ενώ το υπόλοιπο 12 % είναι διανεμημένο στα λεγόμενα μη διασυνδεδεμένα

νησιά, τα οποία είναι νησιά με αυτόνομα συστήματα μη συνδεδεμένα στο ηπειρωτικό δίκτυο. Επιπλέον ισχύς παραγωγής της τάξεως των 50 MW εγκαταστάθηκε προσωρινά στα μη διασυνδεδεμένα νησιά παρέχοντας ακόμα περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2003.

Στην ηπειρωτική Ελλάδα οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής που χρησιμοποιούν εγχώριο κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο αποτελούν το 70 % της εγκατεστημένης ισχύος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το 27 % της εγκατεστημένης ισχύος προέρχονται από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα και το 3 % περίπου είναι βασισμένη σε ΑΠΕ όπως σε αιολικά, μικρά υδροηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά και άλλα (σχήμα 2.3). Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά το 93 % επί του συνόλου είναι θερμικοί σταθμοί που λειτουργούν με πετρέλαιο και μόνο το 7 % βασίζεται σε ΑΠΕ (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις ενεργειακές πηγές (ηπειρωτική χώρα) το 2002 [3].



Σχήμα 2.4: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις ενεργειακές πηγές (μη διασυνδεδεμένα νησιά) το 2002 [3].

Το σύνολο της ηλεκτρικής παραγωγής το 2002 ανήλθε σε 54,5 TWh και ήταν αυξημένο κατά 1,5 % περίπου σε σχέση με το 2001 (πίνακας 2.9). Η ηλεκτρική παραγωγή από θερμικούς σταθμούς ανέρχεται στο 93 % επί του συνόλου ενώ η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί το 6 % και η ενέργεια από ΑΠΕ μόνο το 1 % (σχήμα 2.5).

Πίνακας 2.9: Σύγκριση ηλεκτρικής παραγωγής τα έτη 2001-2002 [3].

Ολική ηλεκτρική παραγωγή (GWh)			
	2001	2002	ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ (%)
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	50223	50404	0,36
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	2725	3463	27,08
ΑΠΕ (ΜΟΝΟ ΑΙΟΛΙΚΗ)	756	651	-13,89
ΣΥΝΟΛΟ	53704	54518	1,52



Σχήμα 2.5: Συμμετοχή των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στο σύνολο της παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2002 [3].

Η ηλεκτρική κατανάλωση στην Ελλάδα ανήλθε το 2002 σε 53,5 TWh και ήταν αυξημένη κατά 2,8 % περίπου σε σχέση με το 2001. Το 2003 η αύξηση στην κατανάλωση ήταν διπλάσια (5,6 %) και ανήλθε σε 56,4 TWh. Αντίθετα, το 2004 υπήρξε μία μείωση στην κατανάλωση της τάξεως του 3,9% (54,3 TWh), κάτι όχι τόσο αναμενόμενο αν αναλογιστεί κανείς τις αυξητικές τάσεις των τελευταίων χρόνων σε Ελλάδα και Ευρώπη (πίνακες 2.10-2.13), αλλά και τις αυξημένες ενεργειακές υποχρεώσεις της χώρας το καλοκαίρι του ίδιου έτους (Ολυμπιακοί Αγώνες).

Λεπτομερείς πληροφορίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κατανάλωση για την περίοδο από το 2001 μέχρι και το 2003 για την ηπειρωτική χώρα και τα διασυνδεδεμένα νησιά, αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες 2.10 και 2.11.

Πίνακας 2.10. Ηλεκτρική κατανάλωση στην Ελλάδα ανά πηγή ενέργειας σε TWh [4].

	TWh			
	2001	2002	2003	2004
ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ	46,1	46,4	47,9	47,6
ΝΕΡΟ	2,7	3,4	5,3	5,9
ΑΠΕ	0,7	0,7	1,1	0,1
=ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	49,5	50,6	54,4	52,6
+ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ	3,6	4,6	4,2	3,1
-ΕΞΑΓΩΓΕΣ	1,1	1,7	2,1	1,5
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	52	53,5	56,4	54,3

Πίνακας 2.11. Μεταβολές ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ελλάδα ανά πηγή ενέργειας σε % [4].

	%			
	2001	2002	2003	2004
ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ	-3,2	0,7	3,2	-0,6
ΝΕΡΟ	-32,7	26,6	55,3	-7,1
ΑΠΕ	-----	-1	55,8	-93,3
=ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	-4,1	2,1	7,5	-3,2
+ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ	105,7	29,3	-9,5	-25,7
-ΕΞΑΓΩΓΕΣ	-39,1	60,9	21,7	-29,9
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	0,8	2,8	5,6	-3,9

Στην Ευρώπη (Ευρωπαϊκή Ένωση των 15) τα στοιχεία της ηλεκτρικής κατανάλωσης δείχνουν μια αύξηση τα τελευταία χρόνια, εκτός του 2002 όπου η κατανάλωση ήταν ίδια με το προηγούμενο έτος. Πιο συγκεκριμένα η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2004 έφτασε τη μέγιστη τιμή της στις 2625 TWh (πίνακες 2.12,2.13).

Πίνακας 2.12. Ηλεκτρική κατανάλωση στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά πηγή ενέργειας σε TWh [4].

	TWh			
	2001	2002	2003	2004
ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ	1271,4	1317,6	1383,3	1408,1
ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	846,2	849,8	854,2	856,5
ΝΕΡΟ	360	300,1	296,2	310,9
ΑΠΕ	11,3	11,6	17,9	19,5
=ΠΑΡΑΓΩΓΗ	2488,8	2479,1	2551,5	2604
+ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ	213	235,3	234	222,1
-ΕΞΑΓΩΓΕΣ	183,1	196,3	205,7	201,5
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	2518,8	2518,2	2579,9	2624,6

Πίνακας 2.12. Μεταβολές ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά πηγή ενέργειας σε % [4].

	%			
	2001	2002	2003	2004
ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ	1,2	3,6	4,8	1,8
ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	3	0,4	0,5	1,3
ΝΕΡΟ	6,3	-16,6	-1,3	5
ΑΠΕ	12,6	2,8	53,6	9,3
=ΠΑΡΑΓΩΓΗ	2,6	-0,4	2,8	2,1
+ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ	-1,6	10,5	-0,6	-5,1
-ΕΞΑΓΩΓΕΣ	3,4	7,2	4,8	-2
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	2,2	0,0	2,4	1,7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

3.1. ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1.1. Το συνταγματικό πλαίσιο

Το Σύνταγμα δεν περιλαμβάνει ασφαλώς, κανόνες που αναφέρονται άμεσα στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, εμπεριέχει διατάξεις που σχετίζονται με τις Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, το άρθρο 24 παρ. 1 Συντ. κατοχυρώνει ρητά την αρχή της αειφορίας. Σύμφωνα, έτσι, με τη διάταξη αυτή «Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας». Είναι εν προκειμένω σαφές ότι η ανωτέρω θεμελιώδης αρχή του «περιβαλλοντικού Συντάγματος», στο μέτρο που περιλαμβάνει την υποχρέωση διασφάλισης του περιβαλλοντικού κεφαλαίου και αποτροπής της εξάντλησης των περιβαλλοντικών αγαθών, εναρμονίζεται απόλυτα με την αξιοποίηση και, μάλιστα, στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, των Α.Π.Ε. Στο πλαίσιο αυτό, ειδικότερα, ο κοινός νομοθέτης έχει υποχρέωση να λαμβάνει μέτρα για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., γεγονός το οποίο οδηγεί σε αντίστοιχη μείωση της συμμετοχής των ρυπογόνων πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Επιπλέον, ο κοινός νομοθέτης δεν μπορεί να καταργήσει ή να μειώσει αυθαίρετα το νομοθετικό καθεστώς για την ανάπτυξη και επέκταση των Α.Π.Ε. ως εναλλακτικών μορφών παραγωγής ενέργειας. Η τελευταία αυτή αντίληψη συμβαδίζει, εξάλλου, σαφώς με τη θεωρία του «περιβαλλοντικού κεκτημένου», στο πλαίσιο της οποίας, άλλωστε, εντάσσεται.

Η αξιοποίηση, συνεπώς, των Α.Π.Ε., στο μέτρο που αποτελεί μορφή προστασίας (ή ακριβέστερα, περιορισμού της βλάβης) του περιβάλλοντος, συνιστά δομικό στοιχείο της αρχής της αειφορίας. Από την άποψη αυτή, η επέκταση της χρήσης των Α.Π.Ε. αποτελεί λόγο δημοσίου συμφέροντος, τον οποίο οφείλει η κρατική εξουσία να επιδιώκει. Ο λόγος αυτός δημοσίου συμφέροντος, εξάλλου, είναι δυνατόν να δικαιολογήσει περιορισμούς στην ατομική ελευθερία, ενώ συγχρόνως, προσλαμβάνει τον χαρακτήρα «δημόσιας ωφέλειας», η οποία καθιστά επιτρεπτή την απαλλοτρίωση ιδιοκτησιών, σύμφωνα με τους ορισμούς του άρθρου 17 του Συντάγματος.

Επισημαίνεται, ακόμη, ότι η αρχή της αειφορίας που θεσπίζεται στο άρθρο 24 παρ. 1 Συντ. διαμορφώνει το κανονιστικό πλαίσιο, εντός του οποίου διεξάγονται οι συναφείς δικαιοτικές και αξιακές σταθμίσεις στις περιπτώσεις εκείνες όπου η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. συγκρούεται με ορισμένα περιβαλλοντικά αγαθά, όπως είναι για παράδειγμα η προστασία των δασών ή των φυσικών πόρων. Είναι, έτσι, σαφές ότι η επίλυση της ανωτέρω «ενδοπεριβαλλοντικής» σύγκρουσης προϋποθέτει σειρά επιμέρους αξιακών σταθμίσεων με βασικό γνώμονα την αρχή της αειφορίας.

3.1.2. Το νομοθετικό πλαίσιο

Η ελληνική νομοθεσία σε ότι αφορά την ηλεκτρική ενέργεια περιλαμβάνει νομοθετήματα και αποφάσεις σχετικά με την μελέτη, εγκατάσταση και λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς ακόμα και όρια εκπομπών ρύπων της ατμόσφαιρας από

σταθμούς παραγωγής. Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρατίθενται τα σημαντικότερα σημεία του νομοθετικού αυτού πλαισίου.

Νόμος (Ν.)1648/50: ‘‘Ιδρυτικός νόμος της Δ.Ε.Η’’.

Ν. 1559/85: ‘‘Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις’’.

Αναφέρεται για πρώτη φορά σε εξαιρέσεις από το αποκλειστικό δικαίωμα της Δ.Ε.Η για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ‘‘αυτόνομους’’ σταθμούς για κάλυψη αυτοπαραγωγών από οργανισμούς Τοπικής αυτοδιοίκησης και ιδιώτες χωρίς να προκαθορίζει τη τιμή της κιλοβατώρας, είτε με Α.Π.Ε (αιολική, ηλιακή, βιομάζα, γεωθερμική ενέργεια, ενέργειες από θάλασσα, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς), είτε με θερμικούς σταθμούς (καύση άνθρακα, αερίων, λιγνίτη κλπ). Επίσης αναφέρεται στη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο νόμος αυτός δεν κατάφερε να ενεργοποιήσει ευρύτερο επενδυτικό ενδιαφέρον και αποτέλεσε το πρόπλασμα για το νεότερο νομοθέτημα, το Ν.2244/94.

Ν.2244/94: ‘‘Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις’’.

Με το νόμο αυτό δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Α.Π.Ε. από ιδιώτες αυτοπαραγωγούς και ανεξάρτητους παραγωγούς με όριο ισχύος τα 50 MW (με εξαίρεση τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα για τα οποία το ανώτερο όριο ήταν 5 MW σε κάθε περίπτωση). Επίσης ρυθμίζονται θέματα σχετικά με τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας και των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Οι διαδικασίες και οι όροι έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών αναφέρονται στις παρακάτω υπουργικές αποφάσεις (ΥΑ):

1) Υ.Α 8295/95

2) Υ.Α 51298/96

3) Υ.Α 8860/98

4) Υ.Α 2190/99

5) Υ.Α 12160/99

Με την υπ’ αριθμ. Δ.6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, προβλέφθηκαν αφενός μεν οι διαδικασίες και τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, αφετέρου δε οι γενικοί τεχνικοί και οικονομικοί όροι των συμβάσεων μεταξύ παραγωγών και Δ.Ε.Η, οι λεπτομέρειες διαμόρφωσης των τιμολογίων καθώς και οι όροι διασύνδεσης.

Ειδικότερα, ορίστηκαν τα δικαιολογητικά έκδοσης άδειας εγκατάστασης για όλες τις κατηγορίες σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, ανεξάρτητα είδους χρησιμοποιούμενης ενεργειακής πρώτης ύλης.

Στο σημείο Β της Υπουργικής αυτής απόφασης ορίστηκαν οι γενικοί όροι και προϋποθέσεις εγκατάστασης των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

Στην εν λόγω Υ.Α. περιλήφθηκαν, επιπλέον, ειδικοί ορισμοί για την έκδοση αδειών εγκατάστασης όσον αφορά τους αιολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [5].

Υ.Α. 8860/98: Με την απόφαση αυτή του Υπουργού Ανάπτυξης τροποποιήθηκε η προγενέστερη υπ’ αριθμ. Δ.6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας. Ειδικότερα, με τη νεότερη αυτή Υπουργική Απόφαση προστέθηκαν στην ανωτέρω Υπουργική Απόφαση του έτους 1998 εδάφια στην Υπουργική Απόφαση του έτους 1995.

Υ.Α. 8907/96: Αναφέρονται τα σχετικά με την τιμολόγηση της διατιθέμενης στη Δ.Ε.Η εγγυημένης ηλεκτρικής ενέργειας, και με τον τύπο της προγραμματικής συμφωνίας μεταξύ της Δ.Ε.Η και ενός ή περισσοτέρων τρίτων για τη δημιουργία και λειτουργία μονάδων συμπαραγωγής.

Υ.Α. 26269/97: Με την απόφαση αυτή του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. ορίζονται οι μέγιστες οριακές τιμές των ρυπαντικών φορτίων (αιωρούμενα σωματίδια, καπνός, SO₂, NO_x, κ.α.) από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης στην ίδια απόφαση ορίζονται και οι μέγιστες οριακές τιμές υγρών αποβλήτων (pH, χρώμα, αγωγιμότητα κ.α.) από τους παραπάνω σταθμούς, οι οποίοι και υποχρεώνονται να υποβάλλουν στο Υπουργείο εκθέσεις υπερβάσεων οριακών τιμών ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Ν. 2601/98: Παρέχει κίνητρα (επιχορηγήσεις) μέχρι και 40%-55% για χρήση Α.Π.Ε. προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ν.2647/98: Με τις διατάξεις των άρθρων αυτού του νόμου μεταβιβάστηκαν οι προβλεπόμενες στο άρθρο 3 του ν. 2244/1994 αρμοδιότητες του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας (ήδη Ανάπτυξης), για τη χορήγηση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας, επεκτάσεων και ανανεώσεων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. στις Περιφέρειες (αποκέντρωση σε περιφερειακό επίπεδο). Με τις ίδιες διατάξεις μεταβιβάστηκαν, εξάλλου, στις Περιφέρειες οι αρμοδιότητες του Υπουργού για την επιβολή των κυρώσεων που προβλέπονται στο άρθρο 4 του ν. 2244/1994.

Ν.2773/99: Απελευθερώνεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 96/92 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα κύρια σημεία του νόμου είναι:

- απελευθέρωση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- σύσταση ρυθμιστικής αρχής ενέργειας (Ρ.Α.Ε)
- άδεια-εξαιρέσεις από την υποχρέωση λήψης άδειας- παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, σύσταση διαχειριστή συστήματος μεταφοράς (Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε)
- διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, ορισμό διαχειριστή δικτύου διανομής (Δ.Ε.Η)
- προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας σε επιλέγοντες και μη επιλέγοντες πελάτες
- συμπαραγωγή και παραγωγή ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- υποχρέωση Υπουργού Ανάπτυξης και Ρ.Α.Ε. κατά την άσκηση των συναφών αρμοδιοτήτων τους να αποβλέπουν μεταξύ άλλων στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις των δραστηριοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Υ.Α. Δ6/Φ1/2000: Με την εν λόγω Υ.Α. καθορίζεται εκ νέου η διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση Α.Π.Ε., με βάση τις διατάξεις των νόμων 2244/1994 και 2773/1999. Ρυθμίζεται ειδικότερα η διαδικασία υποβολής του σχετικού αιτήματος και των δικαιολογητικών στην αρμόδια Υπηρεσία, τα δικαιολογητικά που απαιτούνται, η διαδικασία της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, οι όροι για την εγκατάσταση ή επέκταση των σταθμών αυτών, καθώς και η διαδικασία έκδοσης άδειας λειτουργίας τους. Μικρές τροποποιήσεις και διορθώσεις των ανωτέρω διατάξεων επέρχονται με τη νεότερη υπ' αριθμ. Δ.6/Φ1/10200/05.07.2002 Απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης.

Ν. 2941/2001: Με τις διατάξεις του ν. 2941/2001, επιχειρείται η απλοποίηση των διαδικασιών για την αδειοδότηση των Α.Π.Ε. Όπως, μάλιστα, αναφέρεται στην Εισηγητική Έκθεση του νόμου αυτού «είναι γνωστή η ανάγκη ευρείας διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας στα πλαίσια διεθνών δεσμεύσεων της για την προστασία του περιβάλλοντος και ειδικότερα του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παράλληλα είναι αναγκαία η ασφάλεια του

ενεργειακού εφοδιασμού ώστε να μην εξαρτάται από τις τιμές του δολαρίου και του πετρελαίου».

Οι διατάξεις του άρθρου 2 του ν. 2941/2001 επιδιώκουν να καλύψουν ελλείψεις στο συναφές ρυθμιστικό πλαίσιο. Οι ελλείψεις αυτές μάλιστα οι οποίες αφορούν κατά βάση την εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση Α.Π.Ε. σε δάση ή δασικές εκτάσεις, προκάλεσαν σημαντικές δυσχέρειες στην επέκταση των Α.Π.Ε. και οδήγησαν σε ακύρωση από το Συμβούλιο της Επικρατείας (Σ.τ.Ε.) αποφάσεων αδειοδότησης σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού με τη χρήση αιολικής ενέργειας.

Ειδικότερα, με την παρ. 1 αντικαθίσταται το β' εδάφιο της παραγράφου 3 του άρθρου 45 του ν. 998/1979 («Περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της Χώρας»), έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η εξαίρεση της κατασκευής και εγκατάστασης έργων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., καθώς και των δικτύων σύνδεσής τους με το σύστημα ή το δίκτυο από τη γενική απαγόρευση μεταβολής του προορισμού δημοσίων δασών ή δασικών εκτάσεων και η εντός αυτών εκτέλεση έργων ή δημιουργία μονίμων εγκαταστάσεων.

Ακόμη συμπληρώνονται οι διατάξεις του άρθρου 13 του ν. 1734/1987, κατά τρόπο ώστε να καθίσταται δυνατή η έκδοση από τους Υπουργούς Ανάπτυξης και Γεωργίας απόφασης παραχώρησης δημόσιας έκτασης για την εγκατάσταση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε.

Επισημαίνεται τέλος, ότι με το άρθρο 2 του ν. 2941/2001 τροποποιείται σειρά διατάξεων του ν. 2244/1994

N.3175/2003: Με τις διατάξεις του ν. 3175/2003, τροποποιήθηκαν διατάξεις του ν. 2773/1999 αναφορικά με τις ρυθμίσεις του νόμου αυτού που αφορούν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

K.Y.A 1726/2003: Με τις διατάξεις της Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) 1726/2003 ρυθμίζεται η διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων καθώς και έγκρισης επέμβασης ή παραχώρησης δάσους ή δασικής έκτασης στο πλαίσιο της έκδοσης άδειας εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, ορίζονται οι αρμόδιες αδειοδοτούσες υπηρεσίες, καθώς και οι γνωμοδοτούσες υπηρεσίες που συμμετέχουν στη σχετική διαδικασία.

Από την ανωτέρω περιγραφή του νομοθετικού καθεστώτος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής προκύπτει ότι το εν λόγω εθνικό νομοθετικό πλαίσιο περιλαμβάνει ένα ολόκληρο πλέγμα επιμέρους διατάξεων, οι οποίες ισχύουν στο μέτρο που οι νεότερες εξ αυτών δεν τις τροποποιούν ή τις καταργούν. Γενικά πάντως το βασικό ισχύον νομοθετικό πλαίσιο το οποίο διέπει τους σταθμούς αυτούς περιέχεται στις διατάξεις του ν. 2773/99.

3.2 ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε καθώς επίσης και της ολοένα και μεγαλύτερης επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τους ρύπους των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) έχει εκδόσει αρκετές Αποφάσεις και Οδηγίες σχετικές με θέματα εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών, όπως και παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ονομαστικά αναφέρονται οι χαρακτηριστικότεροι εξ' αυτών τα τελευταία χρόνια:

- **Κοινοτική Οδηγία 2004/8**

- Απόφαση Ευρωπαϊκής Κοινότητας 2003/1228
- Απόφαση Ε.Κ. 2003/1229
- Απόφαση Ε.Κ. 2003/1230
- Κ.Ο. 2003/55
- Κ.Ο. 2003/269
- Απόφαση Επιτροπής 2003/796
- Κ.Ο. 2002/31
- Κ.Ο. 2002/40
- Κ.Ο. 2002/91
- Κ.Ο. 2001/353
- Κ.Ο. 2001/546
- Κ.Ο. 2001/595
- Κ.Ο. 2001/77

Η σημαντικότερη από αυτές που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. είναι η τελευταία και για το λόγο αυτό παραθέεται μια συνοπτική αναφορά σε αυτήν.

Με την οδηγία λοιπόν 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001, θεσπίζονται στην κοινοτική έννομη τάξη ρυθμίσεις για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως, μάλιστα, αναφέρεται στο Προοίμιο της οδηγίας αυτής «Η Κοινότητα αναγνωρίζει την ανάγκη της προαγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως μέτρου προτεραιότητας, δεδομένου ότι η εκμετάλλευσή τους συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Επιπλέον, αυτή η εκμετάλλευση μπορεί επίσης να δημιουργήσει τοπικές θέσεις απασχόλησης, να έχει θετικό αντίκτυπο στην κοινωνική συνοχή, να συμβάλλει στην ασφάλεια του εφοδιασμού και να επιτρέψει την ταχύτερη επίτευξη των στόχων του Κυότο». Επισημαίνεται, ωστόσο, στο προοίμιο της οδηγίας αυτής ότι «είναι πολύ νωρίς για να αποφασισθεί ένα ευρύ κοινοτικό πλαίσιο σχετικά με τα συστήματα στήριξης, λόγω της περιορισμένης πείρας από τα εθνικά συστήματα και του σχετικά μικρού σημερινού μεριδίου στην Κοινότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και η οποία επιδοτείται».

Σύμφωνα, εξάλλου, με το άρθρο 3 της οδηγίας αυτής «Τα κράτη μέλη λαμβάνουν κατάλληλα μέτρα για την προώθηση της αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σύμφωνα με τους εθνικούς ενδεικτικούς στόχους...».

Σημειώνεται ακόμη, ότι με το άρθρο 6 της ανωτέρω οδηγίας τα κράτη-μέλη αναλαμβάνουν την υποχρέωση να περιορίσουν τα κανονιστικά και τα μη κανονιστικά εμπόδια στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και να απλοποιήσουν τη συναφή διοικητική διαδικασία αδειοδότησης. Σημειώνεται τέλος, ότι σύμφωνα με το άρθρο 9 της οδηγίας αυτής, τα κράτη μέλη θέτουν σε ισχύ τις αναγκαίες νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις για να συμμορφωθούν με την εν λόγω οδηγία το αργότερο στις 27 Οκτωβρίου 2003 [6].

Επίσης, σε ότι αφορά τις εκπομπές ρύπων από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, υπάρχουν αρκετές αναφορές και Οδηγίες εδώ και αρκετά χρόνια. Χαρακτηριστικά αναφέρονται:

- **Οδηγία Ε.Ο.Κ 85/203:** Αναφέρεται σε οριακές τιμές NO₂ στην ατμόσφαιρα
- **Οδηγία Ε.Ο.Κ 80/779:** Αναφέρεται σε οριακές τιμές SO₂ (σε συνδυασμό με την Υ.Α 99/87 Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε) και αιωρούμενων σωματιδίων (PM-10) στην ατμόσφαιρα.

3.3 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ ΣΤΗ ΣΥΜΒΑΣΗ – ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΩΝ ΗΝΩΜΕΝΩΝ ΕΘΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

Το Πρωτόκολλο του Κυότο στη Σύμβαση – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών (Η.Ε.) για την αλλαγή του κλίματος, το οποίο κυρώθηκε από την Ελλάδα με τον νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α' 117), περιλαμβάνει αναφορές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ιδιαίτερα για τις Α.Π.Ε.

Σύμφωνα, έτσι, με το άρθρο 2, παρ. 1, περίπτ. iv. κάθε συμβαλλόμενο κράτος υποχρεούται να εφαρμόσει και να αναπτύξει πολιτικές και μέτρα σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες για την «προώθηση, έρευνα, ανάπτυξη και αύξηση της χρήσης νέων και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, τεχνολογίες δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και προηγμένων και καινοτόμων αξιόπιστων τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον». Επισημαίνεται, εξάλλου, ότι το σύνολο των διατάξεων του Πρωτοκόλλου αυτού είναι αρθρωμένο γύρω από τον στόχο του περιορισμού της εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στην εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κυότο, τα βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη υποχρεούνται να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012, σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου θεωρείται το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) καθώς υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο εκλύονται στην ατμόσφαιρα 6 δισεκατομμύρια τόνοι. Η Ε.Ε δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές για το ίδιο χρονικό διάστημα σε ποσοστό 8% με διαφοροποιημένες τις υποχρεώσεις των κρατών-μελών.

Αν και το Πρωτόκολλο αποτελεί ένα σημαντικό πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος, της μεγαλύτερης περιβαλλοντικής απειλής που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης, οι επιστήμονες προειδοποιούν ότι για να αποτραπεί πλήρως ο κίνδυνος των κλιματικών αλλαγών, απαιτείται μέχρι τα μισά του αιώνα να μειωθούν οι εκπομπές όλων των χωρών κατά 50-70%.

Με την ενεργοποίηση του Πρωτοκόλλου ξεκινά και η εφαρμογή των μέτρων και δράσεων για τη μείωση των επικίνδυνων εκπομπών μέσω τριών μηχανισμών που αυτό προβλέπει, και οι οποίοι αποκαλούνται «ευέλικτοι».

Πρώτον, η εμπορία ρύπων: Μια βιομηχανικά ανεπτυγμένη χώρα η οποία έχει μειώσει τις εκπομπές της πέραν των αρχικών στόχων του Πρωτοκόλλου του Κυότο μπορεί να «πουλήσει» αυτή την επιπλέον μείωση σε άλλη χώρα που συνεχίζει να εκπέμπει ποσότητες πάνω από το στόχο της.

Δεύτερον, η δημιουργία μηχανισμού καθαρής ανάπτυξης: Οι αναπτυσσόμενες χώρες ενισχύονται για να αναπτύξουν καθαρές τεχνολογίες. Έτσι παρέχονται κίνητρα ώστε οι αναπτυσσόμενες χώρες να χρηματοδοτήσουν προγράμματα στις αναπτυσσόμενες. Μια βιομηχανική χώρα για παράδειγμα, αντί να μειώσει τις δικές της εκπομπές έχει τη δυνατότητα να «συνδράμει» μια αναπτυσσόμενη, όπου η μείωση κοστίζει φθηνότερα.

Και τέλος, η από κοινού υλοποίηση: Κάτι αντίστοιχο με τον μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης με τη διαφορά ότι αφορά μόνο τις χώρες οι οποίες έχουν δεσμευτεί μέσω του Πρωτοκόλλου ότι θα μειώσουν τα αέρια του θερμοκηπίου.

Οι διατάξεις, βέβαια, αυτές του ανωτέρω Πρωτοκόλλου στερούνται, κατά βάση, αυτοδύναμης εφαρμογής. Απαιτείται, έτσι, η μεσολάβηση πράξεων εθνικών οργάνων προκειμένου να ενεργοποιηθεί το συναφές κανονιστικό πλαίσιο των διατάξεων του στην εσωτερική έννομη τάξη.

Πρέπει, ωστόσο, να γίνει δεκτό ότι ο κοινός νομοθέτης δεν μπορεί να θεσπίσει ρυθμίσεις οι οποίες θα έρχονται σε αντίθεση με τις ανωτέρω δεσμεύσεις.

3.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συνάρθρωση των ανωτέρω εθνικών, κοινοτικών και διεθνών κανόνων προκύπτει ένα εν πολλοίς ικανοποιητικό κανονιστικό πλαίσιο για την εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού. Παρά το γεγονός, ότι οι διατάξεις είναι κάποιες φορές αποσπασματικές και δεν υπακούουν συχνά σε ενιαία λογική, το συνολικό νομοθετικό καθεστώς μπορεί να αποτελέσει, με ορισμένες, ασφαλώς, βελτιώσεις, επαρκή βάση για την ανάπτυξη ορθότερων και αποτελεσματικότερων τεχνολογιών λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την προστασία του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

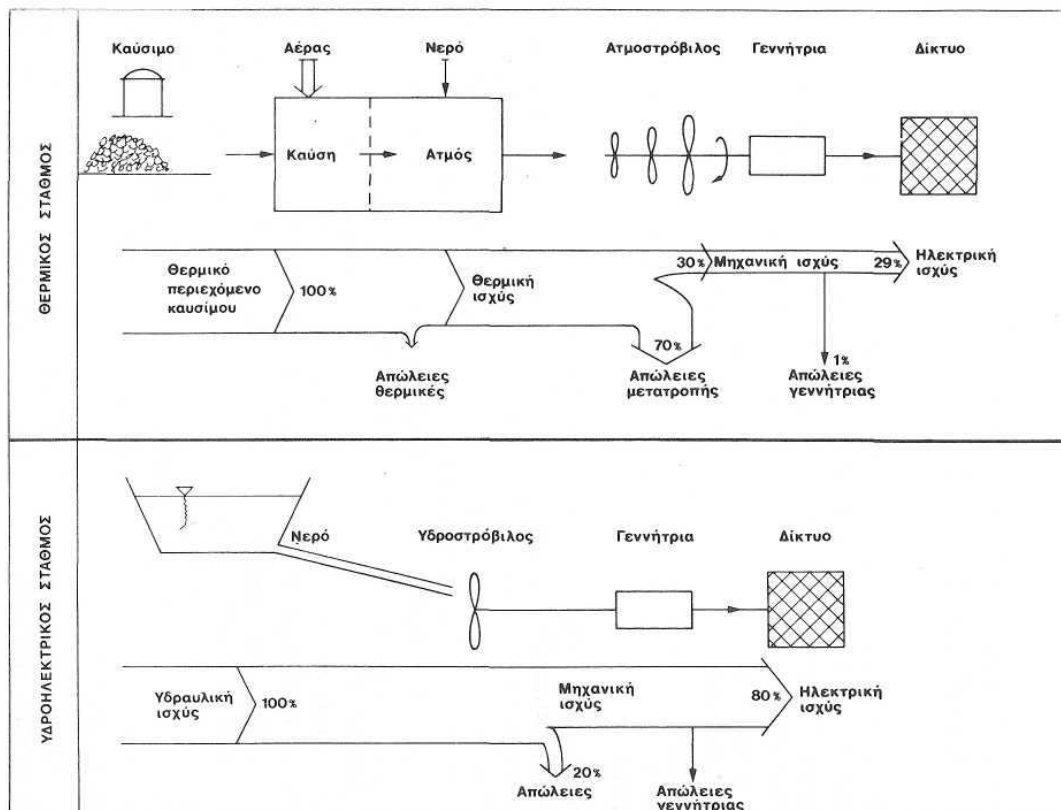
4.1.ΓΕΝΙΚΑ

Ο τρόπος τροφοδότησης ενός δικτύου εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το μέγεθος του και από το κατά πόσο κυμαίνεται η ζήτηση. Το διασυνδεδεμένο δίκτυο καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της χώρας ενώ το λοιπό ποσοστό είναι οι καταναλωτές μικρών αυτονόμων δικτύων στα νησιά. Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί κυρίως με το διασυνδεδεμένο σύστημα. Πέραν όμως τούτου υπάρχουν και μικρά απομονωμένα δίκτυα σε νησιά με μικρή κατανάλωση (20 kW-140 MW).

Η ηλεκτρική ισχύς για την τροφοδότηση διασυνδεδεμένων δικτύων παράγεται, με ελάχιστες εξαιρέσεις, σε θερμικά ή και σε υδροηλεκτρικά εργοστάσια που λέγονται και σταθμοί παραγωγής (πίνακας 4.1.). Το σχήμα 4.1. δείχνει την ροή ισχύος στους δύο αυτούς τύπους εργοστασίων. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μετατρέπουν την ενέργεια του νερού σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική ενέργεια. Στα θερμικά εργοστάσια μετατρέπεται η θερμότητα σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν δύο σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο αυτών τύπων εργοστασίων: α) Ο βαθμός απόδοσης, δηλαδή ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας στην έξοδο διά της πρώτης μορφή ενέργειας, στα δύο αυτά είδη εργοστασίων διαφέρει σημαντικά. Σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς είναι $\eta=0,75...0,92$, ενώ σε θερμικούς σταθμούς είναι συνήθως $\eta=0,20...0,40$. β) Οι θερμικοί σταθμοί ρυπαίνουν σημαντικά το περιβάλλον, όπως θα δούμε, σε αντίθεση με τους υδροηλεκτρικούς που δεν δημιουργούν τέτοια προβλήματα.

Πίνακας 4.1. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [7].

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	ΘΕΡΜΙΚΟΙ (ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ)
ΦΥΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ	ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ
ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	μηχανή: ατμοστρόβιλος
ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΙ	καύσιμο: μαζούτ, φυσικό αέριο,
μηχανή: υδροστρόβιλος	λιγνίτης, τύρφη,
KAPLAN	λιθάνθρακες
FRANCIS	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΙΚΟΙ
PELTON	μηχανή: αεριοστρόβιλος
	καύσιμο: πετρέλαιο DIESEL ή φυσικό αέριο
	ΝΤΗΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ
	μηχανή: DIESEL εμβολοφόρος
	καύσιμο: πετρέλαιο DIESEL



Σχήμα 4.1. Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλα θερμοηλεκτρικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια [7].

4.2.ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Τα θερμικά εργοστάσια διακρίνονται ανάλογα με τα καύσιμα που χρησιμοποιούν σε συμβατικά και πυρηνικά. Συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι διεθνώς τα εξής: τύρφη, λιγνίτης, λιθάνθρακες, πετρέλαιο (diesel ή μαζούτ) και φυσικό αέριο. Πυρηνικά καύσιμα είναι κυρίως μίγμα σχάσιμου ουρανίου U235 και άλλων ισοτόπων του. Η εφαρμογή αυτών των εργοστασίων στον ελληνικό χώρο ήταν υπό συζήτηση για αρκετά χρόνια αλλά φαίνεται, ότι η πιθανότητα αυτή έχει χάσει αρκετό έδαφος καθώς οι μόνοι που υποστηρίζουν με θέρμη αυτή την ιδέα είναι οι μεγάλοι βιομήχανοι ενέργειας διεθνώς, ενώ η κοινή γνώμη βλέπει με σαφώς θετικότερη άποψη την στροφή που επιχειρείται προς τις ΑΠΕ ως εναλλακτική μορφή ενέργειας για τη χώρα μας.

Στην Ελλάδα λοιπόν χρησιμοποιούνται μόνο συμβατικά καύσιμα και κυρίως εγχώριοι λιγνίτες χαμηλής θερμογόνου δύναμης που είναι περί τις 1200-1500 kcal/kg, πετρέλαιο (εισαγόμενο) θερμογόνου δύναμης περί τις 10000 kcal/kg και λιθάνθρακες εισαγόμενοι που χρησιμοποιούνται σε μικρή πρόσμιξη (3,5%) στο λιγνίτη και έχουν περί τις 7000 kcal/kg θερμογόνο δύναμη. Στατιστικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρουν ότι οι θερμικοί σταθμοί, για το έτος 2003 καλύπτουν το 85% της εγχώριας παραγωγής και βασικό καύσιμο αποτελεί ο εγχώριος λιγνίτης.

Τα θερμικά εργοστάσια κατατάσσονται ανάλογα με το μέσο και τις μηχανές που χρησιμοποιούν για το θερμοδυναμικό τους κύκλο: σε ατμοηλεκτρικά που

χρησιμοποιούν ατμό και αμοστρόβιλους, σε αεριοστροβιλικά που χρησιμοποιούν καυσαέρια και αεριοστρόβιλου και σε νηζελοηλεκτρικά με εμβολοφόρες μηχανές ντήζελ. Το σύνολο σχεδόν της θερμικής παραγωγής προέρχεται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ). Αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για ειδικές περιπτώσεις όπως κάλυψη των αιχμών και σε μικρά ή μεμονωμένα νησιωτικά δίκτυα, π.χ. στην Κρήτη. Νηζελοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση μικρών, απομονωμένων, αυτόνομων δικτύων (νησίδες) που βρίσκονται κυρίως στα νησιά. Ντήζελ χρησιμοποιείται, όταν η ζητούμενη ισχύς είναι πολύ μικρή και δεν δικαιολογεί αεριοστροβιλικές εγκαταστάσεις.

Στους ΑΗΣ πρέπει να παράγεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας γιατί έχουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης 30-44%, μικρό συνολικό κόστος ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας (€/kWh) και μικρή ειδική ρύπανση ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας. Χρειάζονται όμως πολλές ώρες και μια πολύπλοκη διαδικασία για την εκκίνησή τους. Η ρύθμιση ισχύος των ατμοηλεκτρικών σταθμών είναι σχετικά πολύπλοκη και αργή σε σύγκριση με άλλες μονάδες λόγω του θερμικού τους μέρους.

Οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης αλλά και μικρό σχετικά βαθμό απόδοσης 20-27% και γι' αυτό το λόγο δεν προτιμούνται για συνεχή λειτουργία στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Έχουν, όμως, το πλεονέκτημα της γρήγορης εκκίνησης. Σε 3-5 λεπτά μπορεί να ξεκινήσουν και η ρύθμιση της αποδιδόμενης ισχύος δεν είναι προβληματική. Έτσι οι αεριοστρόβιλοι προτιμούνται για σκοπούς ρύθμισης ισχύος και συχνότητας και κάλυψης αιχμών ζήτησης σε μικρά ή νησιωτικά δίκτυα. Εκεί η χρήση του ΑΗΣ μπορεί να είναι ασύμφορη ή αδύνατη λόγω: α) του μεγάλου επενδυτικού κόστους και β) λόγω των συνεχών και μεγάλων μεταβολών του φορτίου.

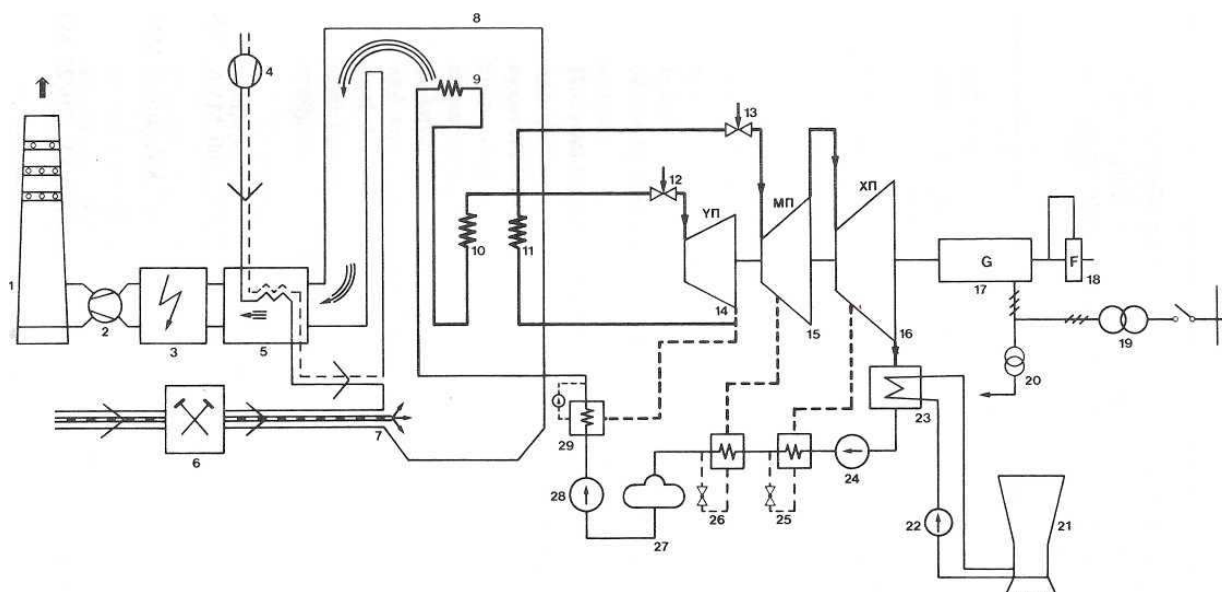
Ο βαθμός απόδοσης του εργοστασίου ή το αντίστοιχο μέγεθος, η ειδική κατανάλωση, που είναι η μάζα καυσίμου ανά παραγόμενη kWh, είναι συνάρτηση του εργοστασίου, του καυσίμου και κυρίως της φόρτισης του εργοστασίου. Πρέπει δηλαδή να ληφθεί υπόψη, ότι το καύσιμο δεν έχει σταθερή ποιότητα ή σύσταση. Ο βαθμός απόδοσης σε ΑΗΣ είναι χαμηλός, π.χ. 10% στις χαμηλές ισχύεις και έχει μέγιστο, π.χ. 35% για μια ισχύ παραγωγής που είναι συνήθως ίση με την ονομαστική ισχύ του σταθμού. Συνήθως δίνεται η μέση ειδική κατανάλωση του σταθμού για 12 μήνες. Αυτή κυμαίνεται για τους ΑΗΣ περί τα 250 g/kWh για πετρέλαιο και 2 kg/kWh για λιγνίτη. Οι θερμικοί σταθμοί τοποθετούνται συνήθως κοντά εκεί, όπου υπάρχει η πρωτογενής ενέργεια, ο άνθρακας. Εάν πρόκειται περί σταθμού με καύσιμο υψηλής θερμογόνου δύναμης (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο), τότε η εγκατάστασή τους γίνεται σε τόπους κοντά στην κατανάλωση και κοντά εκεί όπου υπάρχει ψυκτικό μέσο. Οι σταθμοί που καίνε πετρέλαιο τοποθετούνται κοντά στην κατανάλωση, γιατί η επιβάρυνση του κόστους ανά kWh από τη μεταφορά του υγρού καυσίμου είναι μικρή, ενώ με αυτή την τοποθέτηση εξοικονομείται σημαντικό κόστος εγκαταστάσεων μεταφοράς καθώς και απώλειες.

4.2.1.Συγκρότηση ατμοηλεκτρικών σταθμών

Οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας κατασκευάζονται σαν ένα σύνολο από μονάδες (Block-Kraftwerke Power Stations). Έχουμε σ' ένα χώρο πολλές ανεξάρτητες μονάδες που εργάζονται παράλληλα. Μια μονάδα έχει συνήθως τον δικό της λέβητα, σωληνώσεις, αντλίες, στροβίλους, γεννήτρια, καμινάδα και όλο το ηλεκτρικό σύστημα της μέχρι το δίκτυο. Αν χρειάζεται η μια μονάδα συντήρηση δεν είναι ανάγκη να σταματήσουν και οι άλλες. Προγραμματίζοντας λογικά τις συντηρήσεις ο σταθμός μπορεί, εκτός απροβλέπτου, να είναι πάντα διαθέσιμος εκτός

από μια μονάδα. Μόνο οι εγκαταστάσεις μεταφοράς καυσίμου ή και (ίσως) η καμινάδα μπορεί να είναι κοινές σε π.χ. δύο ή και περισσότερες μονάδες. Σε σπάνιες περιπτώσεις συνδέονται παράλληλα και οι έξοδοι των λέβητων σε μια σωλήνωση διανομής ατμού. Το καύσιμο μεταφέρεται, αν είναι λιγνίτης, από την εξόρυξη κυρίως με ταινιόδρομους στην αυλή του σταθμού. Εκεί διευθετείται στην σωστή του θέση. Η μεταφορά καυσίμου λιθάνθρακα γίνεται συνήθως με το σιδηρόδρομο μέχρι την αυλή του σταθμού.

Το σχήμα 4.2. δείχνει απλοποιημένα το διάγραμμα μιας μονάδας. Ανάλογα με την ισχύ που χρειάζεται ο λέβητας, μεταφέρεται καύσιμο από την αυλή του σταθμού στο λέβητα με ταινιόδρομους. Στο συγκρότημα ενός λέβητα ανήκουν πολλοί μύλοι (6), π.χ. οχτώ που κονιορτοποιούν και ξηραίνουν το καύσιμο. Μετά το καύσιμο οδηγείται στους καυστήρες, υπό μορφή σκόνης άνθρακα (7). Ατμοσφαιρικός αέρας προθερμασμένος από τα καυσαέρια σ' ένα προθερμαντήρα (5) οδηγείται και αυτός στο λέβητα. Στο λέβητα γίνεται η καύση του κονιορτοποιημένου άνθρακα και οι φλόγες και τα θερμά καυσαέρια αφού περάσουν από εναλλάκτες θερμότητας, σωληνώσεις (9,10,11), οδηγούνται προς την καμινάδα (1). Τα καυσαέρια, πριν μπουν στην καμινάδα, καθαρίζονται με φίλτρα απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων. Το φίλτρο (3) είναι συνήθως ένα μηχανικό φίλτρο ή ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο ή συνδυασμός των δύο. Τα τελευταία χρόνια γίνεται και χημικός καθαρισμός των καυσαερίων, από τα οξέα του αζώτου και του θείου, σε περιορισμένη όμως έκταση, λόγω της μεγάλης οικονομικής επιβάρυνσης, το οποίο ανέρχεται σε σημαντικό ποσοστό επί του μηχανολογικού εξοπλισμού.



Σχήμα 4.2. Συγκρότηση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού [7].

1. καμινάδα, 2. ανεμιστήρας ελκυσμού καπνοδόχου, 3. φίλτρο, 4. ανεμιστήρας αέρα καύσης, 5. προθερμαντής αέρα, 6. κονιορτοποιητικός μύλος άνθρακα, 7. καυστήρας, 8. λέβητας, 9. ατμογεννήτρια, 10. υπερθερμαντής ατμού, 11. επαναθέρμανση ατμού, 12.&13. βαλβίδες ρύθμισης και ασφαλείας υψηλής πίεσης (ΥΠ) και μέσης πίεσης (ΜΠ), 14.,15.&16. στρόβιλοι υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης, 17. γεννήτρια, 18. διεγέρτρια, 19. Μετασχηματιστής (ΜΣ) μονάδας, 20. ΜΣ ιδιοκατανάλωσης, 21. πύργος ψύξης, 22. κυκλοφορητής νερού ψύξης, 23. συμπυκνωτής (ψυγείο), 24. κυκλοφορητής συμπυκνώματος, 25.&26. προθερμαντές νερού (ΜΠ, ΧΠ) με απομάστευση ατμού, 27. διαχωριστής ατμού-νερού, 28. αντλία τροφοδοσίας λέβητα 29. προθερμαντής νερού (ΥΠ).

4.2.1.1. Ο κύκλος του ατμού

Το κύκλωμα του ατμού λειτουργεί με νερό απιονισμένο για να μην έχουμε επικαθίσεις αλάτων. Η τροφοδοτική αντλία (28) συμπιέζει το νερό, που έχει ήδη προθερμανθεί στους π.χ. 250°C, στη ατμογεννήτρια (9). Από την αντλία (28) μέχρι το στρόβιλο (14) έχουμε, αν παραλείψει κανείς τις απώλειες τριβών, ενιαία πίεση π.χ. 180 bar. Στην ατμογεννήτρια (9) το νερό ατμοποιείται στους 356°C και διαχωρίζεται ο ατμός από το νερό. Ο ατμός υπερθερμαίνεται ακολούθως στον εναλλάκτη (10) π.χ. στους 540°C. Μετά τον εναλλάκτη (10) έχουμε ατμό μεγίστης ενθαλπίας. Ο ατμός μετά την υπερθέρμανσή του λέγεται φρέσκος ή ζωντανός ατμός.

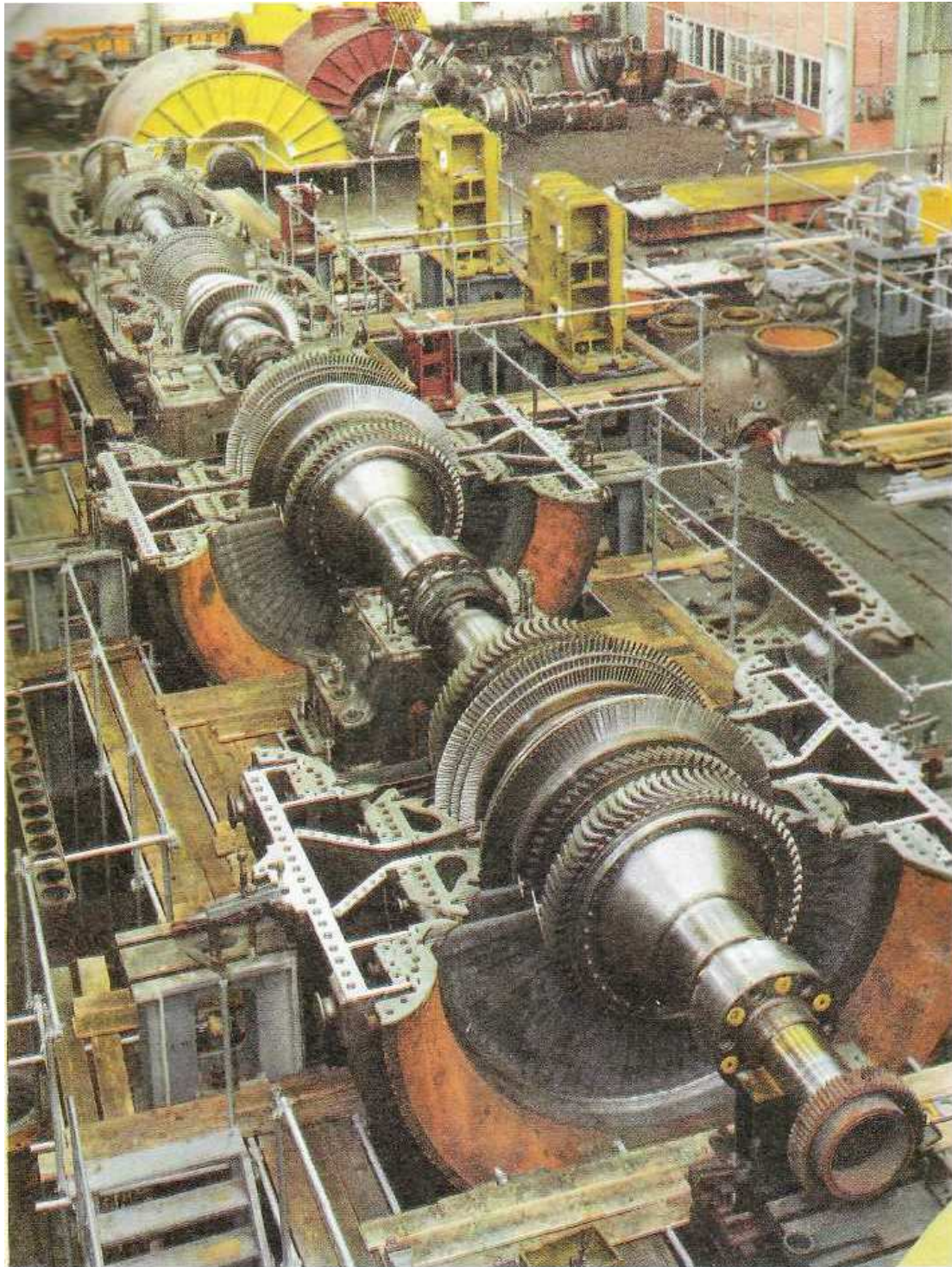
Ακολούθως εισάγεται ο ατμός στον στρόβιλο. Ο στρόβιλος έχει συχνά τρία τμήματα, της υψηλής (14), της μέσης (15) και της χαμηλής πίεσης (16). Τα τμήματα αυτά λέγονται στρόβιλος υψηλής (ΥΠ), μέσης (ΜΠ) και χαμηλής πίεσης (ΧΠ). Ο ατμός εκτονώνεται πρώτα στο τμήμα υψηλής πίεσης και ακολούθως εισάγεται διαδοχικά στα δύο άλλα τμήματα (15) και (16) για να εκτονωθεί εκεί. Στην έξοδο του στρόβιλου χαμηλής πίεσης (16) έχουμε περίπου κενό $p = 0,05$ bar και θερμοκρασία λίγο πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, π.χ. 35°C. Το κενό δημιουργείται στο ψυγείο ή στο συμπυκνωτή (23). Ο ατμός που μπαίνει στο ψυγείο συμπυκνώνεται πάνω στον ψυχρό εναλλάκτη θερμότητας που διαρρέεται από ψυχρό νερό. Στο ψυγείο γίνεται η απόβολη της μη χρησιμοποιηθείσας θερμότητας που πηγαίνει τελικά στον πύργο ψύξης (21). Ο πύργος ψύξης μεταφέρει ανάλογα με το βαθμό απόδοσης περί τα 60%-80% της θερμότητας που παράγεται από της καύση στο περιβάλλον. Αντί του πύργου ψύξης μπορεί το αποβαλλόμενο ποσό θερμότητας να οδηγηθεί σε στάσιμα ή τρεχούμενα νερα, π.χ. λίμνες, θάλασσες, ποτάμια.

Ο συμπυκνωμένος ατμός, οδηγείται με κυκλοφορητή (24) στους εναλλάκτες που προθερμαίνουν το νερό, προθερμαντές (25,26,29). Προθέρμανση του νερού γίνεται από τους 35°C στη θερμοκρασία των 250°C με απομαστεύσεις του ατμού. Μπορεί να υπάρχουν εφτά απομαστεύσεις ή και παραπάνω. Το σχέδιο δείχνει σχηματικά τρεις απομαστεύσεις, μία ανά βαθμίδα. Για την παραπέρα προθέρμανση του νερού χρησιμοποιούνται επίσης εναλλάκτες που βρίσκονται στην έξοδο του λέβητα και δεν φαίνονται στο σχήμα. Το νερό συμπιέζεται τελικά στο λέβητα στην πίεση των π.χ. 180 bar με την αντλία τροφοδοσίας λέβητα που είναι και η μεγαλύτερη μηχανή, μετά το στρόβιλο, σ'έναν ΑΗΣ. Όσον αφορά τη αύξηση του βαθμού απόδοσης ενός ΑΗΣ χρησιμοποιούνται:

1. Υψηλή πίεση και θερμοκρασία
2. προθέρμανση του νερού με απομαστεύσεις
3. Επαναθερμάνσεις του ατμού. Ο ατμός δεν πάει κατ'ευθείαν από τη βαθμίδα υψηλής στην βαθμίδα μέσης πίεσης παρά επαναθερμαίνεται πρώτα στον εναλλάκτη (11).

Οι πιέσεις είναι περιορισμένες για κατασκευαστικούς λόγους στα 180-250 bar. Η θερμοκρασία περιορίζεται στους 550 °C για χάλυβες φερριτικούς (με μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο). Για μεγαλύτερες θερμοκρασίες απαιτούνται οστενιτικοί χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα χρωμίου και νικελίου, πράγμα που γίνεται οικονομικά ασύμφορο.

Οι εικόνες 4.1 και 4.2 δίνουν μια ιδέα για το μέγεθος των στροβίλων μιας μονάδας. Εκεί φαίνονται οι στρόβιλοι της μονάδας υπό συναρμολόγηση.



Εικόνα 4.1. Εγκατάσταση ατμοστρόβιλου υπό συναρμολόγηση [7]. Διακρίνονται η αντλία του λέβητα σε κοινό άξονα με τους στροβίλους ΥΠ, ΜΠ, και ΧΠ. Κάθε στρόβιλος είναι διπλής εκροής. Ο ατμός εισέρχεται στην μέση του στροβίλου και εξέρχεται από τα δυο άκρα του στροβίλου. Το πάνω μέρος των κελυφών δεν έχει συναρμολογηθεί. Έχουν τοποθετηθεί ένα μέρος των σταθμών και ένα μέρος των περιστρεφόμενων πτερυγίων



Εικόνα 4.2. Στρεφόμενα πτερύγια στροβίλου [7].
Πάνω είναι ο δρομέας μέσης και κάτω ο δρομέας χαμηλής πίεσης

4.2.1.2 Κύκλωμα γεννήτριας

Πάνω σε κοινό άξονα με τις βαθμίδες των στροβίλων βρίσκεται, όπως δείχνει το σχήμα 4.2, η γεννήτρια (17) και η διεγέρτρια της γεννήτριας (18). Η έξοδος της γεννήτριας συνδέεται στον υποσταθμό του εργοστασίου με τις άλλες μονάδες και με το δίκτυο. Η τάση της γεννήτριας κυμαίνεται από 6-30 kV. Αυτή ανυψώνεται στην τάση που απαιτείται για την μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος με ειδικό μετασχηματιστή (ΜΣ) (19), τον μετασχηματιστή γεννήτριας ή μετασχηματιστή μονάδας.

Ο σταθμός χρειάζεται επίσης ηλεκτρική ισχύ για τις ανάγκες του. Αυτές είναι η ισχύς που χρειάζεται για τις αντλίες και τους ανεμιστήρες, το φωτισμό, τους ταινιόδρομους, τους γερανούς, κλπ. Η τροφοδοσία των ιδίων αναγκών του σταθμού

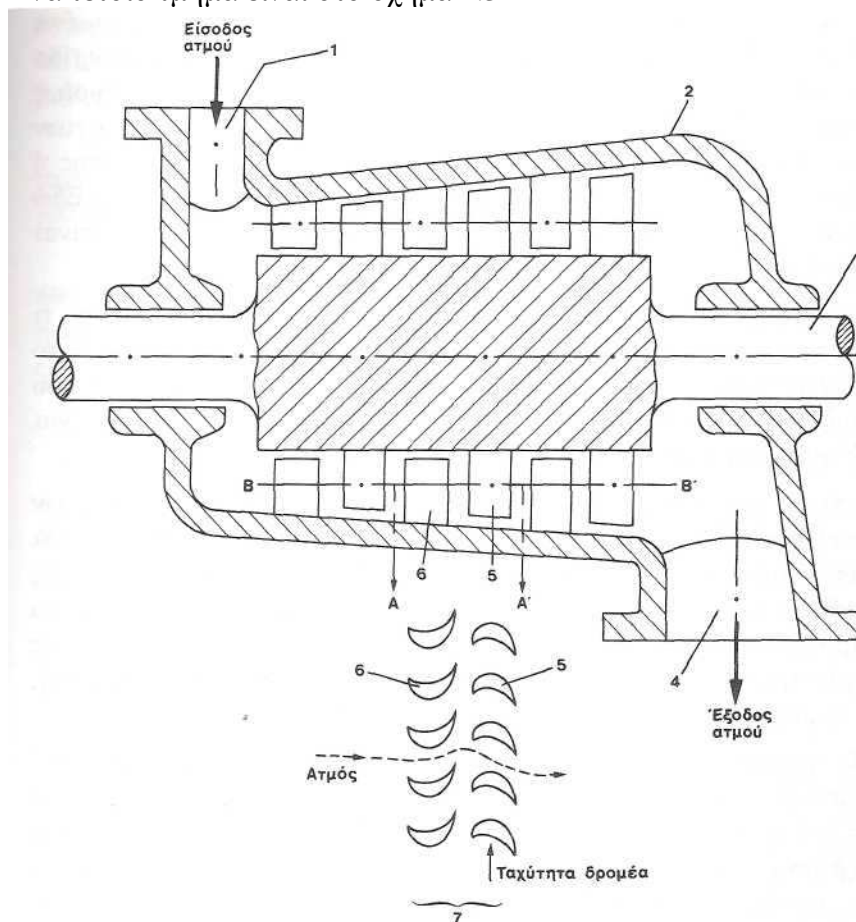
γίνεται στο παράδειγμά μας με ειδικό μετασχηματιστή (20), τον μετασχηματιστή ιδιοκατανάλωσης ή βοηθητικών λειτουργιών.

4.2.1.3. Ο ατμοστρόβιλος

Στον ατμοστρόβιλο μετατρέπεται η ενέργεια του ατμού σε μηχανική ενέργεια που κινεί τη γεννήτρια. Ο ατμός εκτονώνεται αποκτώντας έτσι μια ταχύτητα ροής. Ακολούθως πέφτει το ρεύμα ατμού σε καμπύλα πτερύγια στερεωμένα σε ένα τροχό ασκώντας εκεί πάνω μια δύναμη και μια ροπή. Ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής εξαρτάται από τη σχετική ταχύτητα των πτερυγίων ως προς την ταχύτητα του ατμού και είναι μέγιστος για μια ορισμένη σχετική ταχύτητα.

Επειδή η ταχύτητα των πτερυγίων είναι για κατασκευαστικούς λόγους περιορισμένη, η ταχύτητα του ατμού πρέπει να είναι και αυτή περιορισμένη για να κρατήσουμε ένα ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης. Η ταχύτητα του ατμού είναι συνάρτηση της διαφοράς πίεσης κατά την εκτόνωσή του.

Οι πιέσεις των 250 bar, όπως μπορεί να είναι η πίεση του υπέρθερμου ατμού θα έδιναν σε πλήρη εκτόνωση, πολλαπλές ταχύτητες ατμού από αυτές που χρειαζόμαστε. Συνεπώς, πρέπει η εκτόνωση του ατμού να γίνεται σταδιακά σε πολλές βαθμίδες. Οι βαθμίδες αποτελούνται από μια στεφάνη σταθερών και μια στεφάνη κινητών πτερυγίων. Το σύνολο των βαθμίδων χωρίζεται σε τμήματα, που λέγονται και στρόβιλοι, με ξεχωριστά κελύφη. Ένα τέτοιο τμήμα είναι στο σχήμα 4.3



Σχήμα 4.3. Ατμοστρόβιλος σχηματικά [7]. Διακρίνονται 1. στόμιο εισόδου 2. κέλυφος 3. δρομέας 4. στόμιο εξόδου 5. κινητό πτερύγιο 6. σταθερό (οδηγόν πτερύγιο) 7. ανάπτυγμα

μιας κυλινδρικής τομής BB' που δείχνει ένα ζεύγος κινητών και σταθερών πτερυγίων, δηλαδή μια βαθμίδα

Υπάρχουν συνήθως τρία τμήματα: οι στρόβιλοι υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης. Κάθε τμήμα επεξεργάζεται μια ορισμένη διαφορά πίεσης. Ένα τμήμα αποτελείται από ένα σταθερό τροχό με σταθερά πτερύγια, τα οδηγία πτερύγια, που οδηγούν τον ατμό πάνω σε κινητά πτερύγια στερεωμένα στο δρομέα του στρόβιλου. Οι καμπυλότητες των πτερυγίων είναι τέτοιες ώστε το εξερχόμενο ρεύμα ατμού από τα σταθερά πτερύγια να πέφτει πάνω στα κινούμενα πτερύγια κατά δυνατότητα χωρίς στροβιλισμούς και κρούσεις στις επιφάνειες. Υπάρχουν πολλά σταθερά και κινούμενα πτερύγια ανά τμήμα, όπως δείχνουν τα σχήματα. Ο ατμός εισέρχεται σε ένα τμήμα και οδηγείται σταδιακά από σταθερά σε κινητά, σε σταθερά πτερύγια κ.ο.κ. Τέτοια ζεύγη στεφανιών σταθερών-κινητών πτερυγίων (βαθμίδες) υπάρχουν πολλά, π.χ. είκοσι σε ένα τμήμα υψηλής πίεσης. Κάθε ζεύγος πτερυγίων, βαθμίδα, επεξεργάζεται και μια ορισμένη μικρή διαφορά πίεσης. Η μετατροπή της ενέργειας σε μια βαθμίδα μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: α) Η εκτόνωση να γίνεται κυρίως στα σταθερά πτερύγια. Στην είσοδο και έξοδο των κινητών πτερυγίων έχουμε σταθερή πίεση. Αυτοί ονομάζονται στρόβιλοι ίσης πίεσης ή στρόβιλοι δράσης. β) Η εκτόνωση γίνεται και στα δύο πτερύγια. Εδώ οι πιέσεις στην είσοδο και έξοδο των κινητών πτερυγίων είναι διαφορετικές οπότε εδώ μιλάμε για στρόβιλους αντίδρασης. Ο βαθμός απόδοσης των στρόβιλων δράσης είναι κατά τι μεγαλύτερος απ' ότι στους στρόβιλους αντίδρασης όσον αφορά το τμήμα των πτερυγίων. Αν ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που διαμορφώνουν τον βαθμό απόδοσης, οι δυο μορφές στρόβιλων είναι ισοδύναμες και έτσι κατασκευάζονται και οι δύο τύποι.

Επειδή για την επεξεργασία της υψηλής διαφοράς πίεσης (των 250 bar) χρειάζονται πολλά ζεύγη πτερυγίων, βαθμίδες, οι στρόβιλοι θα αποκτούσαν ένα τεράστιο μήκος, θα προέκυπταν μεγάλες αποστάσεις εδράνων και οι θερμοκρασιακές διαφορές στο περίβλημα θα δημιουργούσαν προβλήματα. Γι αυτό διαιρούνται οι στρόβιλοι σε π.χ. τρία τμήματα, με τρία περιβλήματα και τέσσερα σημεία έδρασης.

Κατά την εκτόνωση του ατμού αυξάνεται ο όγκος. Έτσι, προχωρώντας στη διεύθυνση ροής του ατμού στο στρόβιλο αυξάνεται και το μήκος των πτερυγίων. Για να μπορέσει κανείς να ανταποκριθεί στον αυξημένο όγκο του ατμού στο τμήμα της χαμηλής πίεσης πρέπει, συνήθως, να αυξηθεί όχι μόνο το μήκος των πτερυγίων αλλά και η διάμετρος του δρομέα. Επίσης μπορεί να διαμορφωθεί η χαμηλή πίεση σε στρόβιλο διπλής ροής. Ο ατμός εισέρχεται στη μέση και εξέρχεται από τα δύο άκρα συμμετρικά.

Στους στρόβιλους αντίδρασης δρα πάνω στο δρομέα η διαφορά πίεσης των βαθμίδων. Ο άξονας δέχεται μια αξονική δύναμη. Αυτή η δύναμη εξισορροπείται με κατάλληλη διάταξη των τμημάτων της χαμηλής, μέσης και υψηλής πίεσης ή με στρόβιλους διπλής ροής ή με άλλα μέσα όπως ωστικά έδρανα.

Στρόβιλοι για ΑΗΣ μεγάλης ισχύος έχουν περιστροφική ταχύτητα 3000/min για 50 Hz ή 3600/min για 60 Hz. Μονάδες των 300-800 MW ανά άξονα είναι δεκάδων ετών σε λειτουργία.

Σε πυρηνικούς σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν ήδη μονάδες των 600-1200 MW ανά άξονα. Η ταχύτητά τους είναι 1500/min. Προφανώς η καταπόνηση των πτερυγίων λόγω φυγόκεντρου δύναμης είναι μέγιστη στις τελευταίες βαθμίδες της χαμηλής πίεσης.

4.2.1.4. Αλλαγές ισχύος σε έναν ΑΗΣ

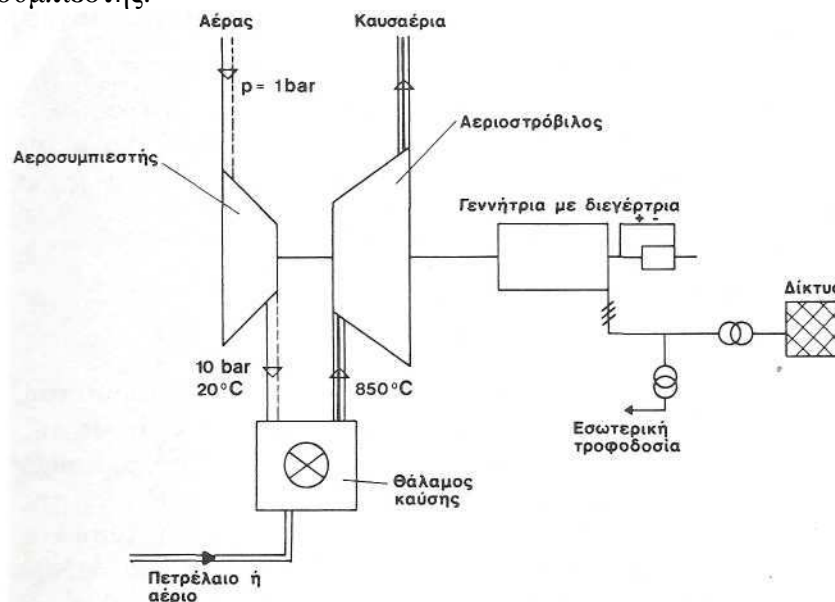
Ένας σύγχρονος ατμοηλεκτρικός σταθμός είναι ένα πολύπλοκο δυναμικό σύστημα με πολλές ρυθμίσεις. Σαν αποτέλεσμα της αποθηκευμένης θερμότητας στα μηχανικά μέρη και στον ατμό οι αλλαγές στις ρυθμίσεις είναι αργές. Οι θερμικές καταπονήσεις είναι τεράστιες (τυπική διαστολή ενός λέβητα 30 μέτρων ύψους είναι 12 εκατοστά). Λόγω περιορισμού των μηχανικών και θερμικών καταπονήσεων επιτρέπονται μόνο αργές αλλαγές ισχύος σε έναν ΑΗΣ.

Π.χ. $\Delta P/\Delta t = 0,02 P_n / \text{min}$, (P_n = ονομαστική ισχύς)

Έτσι διαρκεί και η εκκίνηση ή το σταμάτημα ενός ΑΗΣ πολλές ώρες. Κατά την εκκίνηση ή το σταμάτημα ο βαθμός απόδοσης είναι μικρός. Έτσι έχουμε πρόσθετες καταναλώσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Σαν παράδειγμα λειτουργίας ΑΗΣ αναφέρεται στο επόμενο υποκεφάλαιο ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου στην Κοζάνη.

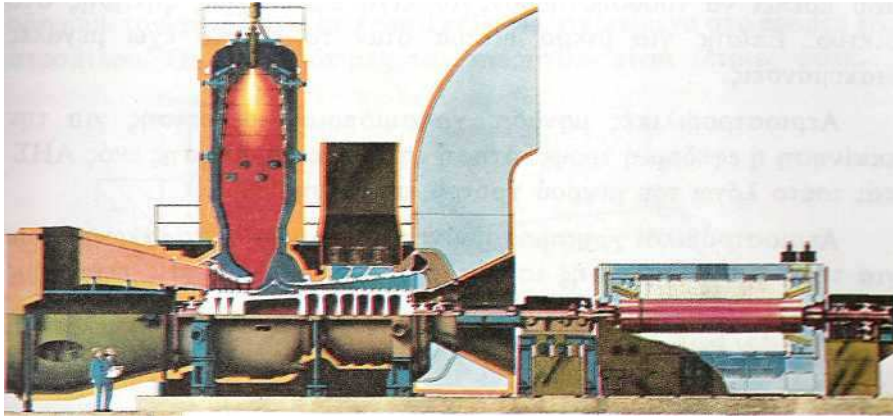
4.2.2. Αεριοστροβιλικόι σταθμοί

Οι αεριοστροβιλικές μονάδες αποτελούνται από τέσσερα βασικά στοιχεία, όπως δείχνουν το σχήμα 4.3. και οι εικόνες 4.3 και 4.4., δηλαδή το συμπιεστή του αέρα καύσης, το θάλαμο καύσης, τον αεριοστρόβιλο και τη γεννήτρια. Όπως δείχνει το σχήμα 4.4 ο συμπιεστής, ο στρόβιλος και η γεννήτρια βρίσκονται σε κοινό άξονα. Ο συμπιεστής απορροφά περίπου τα 2/3 της ισχύος του άξονα. Η ενέργεια αυτή δεν ρέει προς τα έξω, δεν χάνεται, αλλά προσδίδεται στον αέρα που συμπιέζει ο συμπιεστής.



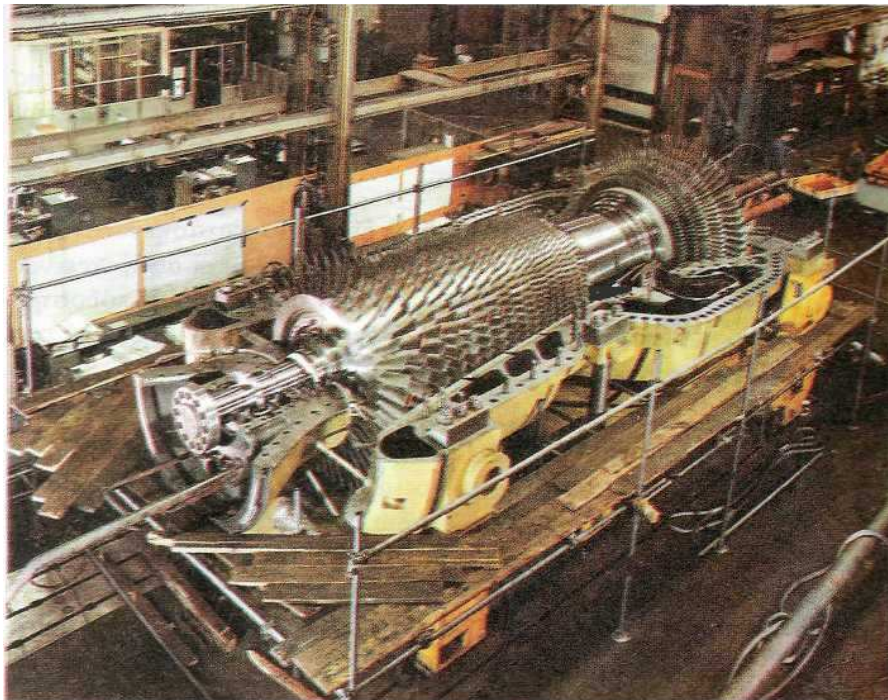
Σχήμα 4.4. Σχηματική διάταξη αεριοστρόβιλου [7].

Ο ατμοσφαιρικός αέρας, αφού συμπιεσθεί, οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Εκεί ψεκάζεται με πετρέλαιο ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο και φυσικό αέριο. Τα αέρια προϊόντα της καύσης έχουν θερμοκρασία μέχρι περίπου 850°C. Αυτά οδηγούνται στο στρόβιλο και εκτονώνονται, μετατρέποντας δε κατά την εκτόνωση μέρος της ενέργειάς τους σε μηχανική ενέργεια.



Εικόνα 4.3. Αεριοστρόβιλος με γεννήτρια [7].

Από δεξιά προς τα αριστερά διακρίνονται: η γεννήτρια, η είσοδος αέρα, ο συμπιεστής, ο θάλαμος καύσης, ο στρόβιλος και η έξοδος των καυσαερίων.



Εικόνα 4.4. Αεριοστρόβιλος, αριστερά, με αεροσυμπιεστή, δεξιά, υπό συναρμολόγηση [7].

Οι αεριοστροβιλικές μονάδες είναι απλές (έχουν λίγα στοιχεία) και είναι συνεπώς και φθηνές. Ξεκινούν μέσα σε λίγα λεπτά και ρυθμίζεται η ισχύς τους σε χρόνους πολύ μικρότερους από ότι σε έναν ΑΗΣ. Έχουν όμως μικρή απόδοση, μέχρι 28% αν και νεότερες τεχνολογίες μπορούν να φτάσουν μέχρι ονομαστικό βαθμό απόδοσης 45%. Τέτοιες μονάδες μπορεί να ξεκινούν τελείως αυτόματα και μάλιστα με τηλεχειρισμό, πράγμα που δεν είναι ακόμα δυνατό σε έναν ΑΗΣ, λόγω της πολυπλοκότητάς του.

Η χρήση τους καταλήγει οικονομικά συμφέρουσα σε περιπτώσεις που πρέπει να τροφοδοτηθούν, για λίγη ώρα, αιχμές ζήτησης στο δίκτυο. Επίσης για μικρά δίκτυα όταν το φορτίο έχει μεγάλες διακυμάνσεις.

Αεριοστροβλικές μονάδες χρησιμοποιούνται επίσης για την εκκίνηση ή εφεδρική τροφοδότηση της ιδιοκατανάλωσης ενός ΑΗΣ λόγω του μικρού χρόνου εκκίνησής τους.

Αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται και σαν ρυθμιστικά εργοστάσια για τη ρύθμιση της ροής ισχύος στο δίκτυο, ιδίως σε περιόδους αιχμών.

4.2.3. Ρύπανση του περιβάλλοντος από θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα θερμικά εργοστάσια προκαλούν κυρίως φυσικοχημική ρύπανση η οποία συνίσταται από την εκπομπή στερεών και αερίων προϊόντων καύσης και θερμότητας. Ειδικότερα για τα είδη, τα ποσά και τα ποσοστά των ρύπων από θερμικά εργοστάσια θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Εκτός όμως από τη φυσικοχημική ρύπανση, οι σταθμοί προκαλούν και οπτική όχληση.

Οπτική παρενόχληση προκαλείται από τις εγκαταστάσεις ισχύος δηλαδή τα εργοστάσια παραγωγής, τους υποσταθμούς και κυρίως όμως τους σταθμούς μεταφοράς. Εφ' όσον λοιπόν οι θερμικοί σταθμοί, όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, κατέχουν μεγάλο ποσοστό και στην ευθύνη για την οπτική υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Λύσεις για αυτό το θέμα παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά:

Υποσταθμοί μπορούν να τοποθετηθούν σε κτίρια(υποσταθμοί κλειστού τύπου). Για τη μέση τάση, όπως για 20 kV, ο υποσταθμός τοποθετείται σε ένα κτίσμα ή μέσα στην οικοδομή που τροφοδοτείται. Για υψηλές τάσεις, όπως 150 kV, χρησιμοποιούνται ιδιαίτερες κατασκευές που χρησιμοποιούν διάφορα μονωτικά υλικά (όπως SF6 αέριο, το οποίο όμως δεν αποτελεί βέλτιστη λύση καθώς είναι ένας από τους θερμοκηπιακούς ρύπους), οπότε ελαττώνεται ο όγκος τους και τοποθετούνται έτσι σε κτίριο. Υπάρχουν ακόμα και για τάσεις μέχρι 750 kV κατασκευαστικές λύσεις κλειστού τύπου που ενδεχομένως για πυκνά κατοικημένες περιοχές έχουν συγκρίσιμο κόστος με τις κατασκευές υποσταθμών ανοικτού τύπου.

Εναέριες γραμμές τριφασικού ρεύματος μπορούν να αντικατασταθούν με υπόγεια καλώδια. Για «μικρές» αποστάσεις δεν παρουσιάζονται τεχνικά προβλήματα εκτός από οικονομικό κόστος. Μικρές αποστάσεις νοούνται εκείνες, όπου το χωρητικό ρεύμα των καλωδίων είναι αρκετά μικρότερο από την επιτρεπόμενη φόρτιση ή το ρεύμα φορτίου που εξυπηρετούν. Για τάση π.χ. των 150 kV, μικρή απόσταση είναι αυτή των 10 km και για 400 kV είναι κάτω από 5-10 km.

Για μεγάλες αποστάσεις το χωρητικό ρεύμα και η αντιστοιχούσα άεργος ισχύς σε καλώδια μπορούν να γίνουν απαγορευτικά μεγάλα. Έτσι για υπόγεια μεταφορά σε μεγάλο μήκος πρέπει να χωριστεί η απόσταση σε μικρότερα κομμάτια και να τοποθετηθούν υποσταθμοί με εγκαταστάσεις αντιστάθμισης, δηλαδή με αυτεπαγωγές. Μια άλλη λύση είναι να χρησιμοποιηθεί συνεχές ρεύμα για τη μεταφορά.

Όμως ακόμα και χωρίς τις εγκαταστάσεις αντιστάθμισης, δηλαδή και σε αρκετά μικρές αποστάσεις μεταφοράς, το κόστος μιας υπόγειας καλωδιακής μεταφοράς είναι πολλαπλάσιο του κόστους των εναέριων γραμμών.

4.2.4. Ατμοηλεκτρικός σταθμός Αγίου Δημητρίου Κοζάνης

Στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στους νομούς Κοζάνης και Φλώρινας είναι εγκατεστημένοι επτά σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, έξι θερμοκοί και ένας υδροηλεκτρικός, με 21 μονάδες παραγωγής και συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4.813 MW, που η εγκατάστασή τους έγινε διαδοχικά από το 1959 μέχρι το 2003.

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο αναλύονται οι εγκαταστάσεις και η λειτουργία του σταθμού που είναι ο μεγαλύτερος στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας και βρίσκεται στο νομό που κατέχει με διαφορά την πρώτη θέση στον τομέα αυτό, του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Ο Ατμοηλεκτρικός Σταθμός (ΑΗΣ) Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένος στο νομό Κοζάνης, σε υψόμετρο 678 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας, κοντά στην Εθνική οδό Κοζάνης-Θεσσαλονίκης και σε απόσταση 18 χιλιομέτρων από την πόλη της Κοζάνης.

Αποτελείται από πέντε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συνολικής ισχύος 1.595 MW.

Η συνολική επιφάνεια των εγκαταστάσεών του είναι 3.236 στρέμματα.

Ως καύσιμο χρησιμοποιείται ο τοπικός λιγνίτης. Το όνομα του σταθμού προέρχεται από το κοντινό χωριό Άγιος Δημήτριος που απέχει μόλις 1000 μέτρα.

Πίνακας 4.2. Κατασκευαστικά στοιχεία μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

Κατασκευαστικά στοιχεία μονάδων					
ΜΟΝΑΔΕΣ	I	II	III	IV	V
Κατασκευαστής λέβητα	STEIN INDUSTRIE	STEIN INDUSTRIE	EVT	EVT	WAAGNER BIRO
Κατασκευαστής στροβίλου	ALSTHOM	ALSTHOM	TPE	TPE	ANSALDO
Έργα Πολ. Μηχανικού	ΕΡΓΑΣ	ΕΡΓΑΣ	ΕΡΓΑΣ	ΕΡΓΑΣ	ΑΕΓΕΚ
Έτος Κατασκευής	1984	1984	1985	1986	1997
Ισχύς (MW)	300	300	310	310	375

4.2.4.1 Λειτουργία μονάδας

Η καύση του λιγνίτη πραγματοποιείται στο λέβητα (θάλαμο καύσης) και η θερμική ενέργεια που παράγεται απορροφάται από το αφαλατωμένο νερό που κυκλοφορεί στους αυλούς του λέβητα, με αποτέλεσμα την ατμοποίηση του νερού και τη δημιουργία υπέρθερμου ατμού.

Ο υπέρθερμος ατμός (Υ/Θ) οδηγείται στο Στρόβιλο Υψηλής Πίεσης, όπου εκτονώνεται παράγοντας έργο (περιστρέφοντας τον πτερυγιοφόρο άξονα του στροβίλου).

Ακολούθως ο ατμός οδηγείται εκ νέου στο λέβητα για αναθέρμανση (αύξηση της θερμοκρασίας, Α/Θ) και στη συνέχεια στο Στρόβιλο Μέσης και Χαμηλής Πίεσης, όπου εκτονώνεται και πάλι παράγοντας έργο, για να καταλήξει τελικά στο κύριο

ψυγείο της μονάδας, όπου συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού, το οποίο απάγει τη θερμότητα του προς συμπύκνωση ατμού.

Στη συνέχεια μέσω αντλιών, αφού προθερμανθεί, σε δύο στάδια, σε εναλλάκτες θερμότητας οδηγείται εκ νέου στο λέβητα, μέσω των τροφοδοτικών αντλιών για ατμοποίηση, ολοκληρώνοντας έτσι το θερμικό κύκλο.

Η θερμική ενέργεια που απάγεται από το ψυκτικό νερό στο κύριο ψυγείο, αποβάλλεται στη συνέχεια στον πύργο ψύξης με καταιονισμό για να επανέλθει πλέον με χαμηλότερη θερμοκρασία εκ νέου στο κύριο ψυγείο μέσω δύο αγωγών κυκλοφορίας, ώστε να κλείσει ο ψυκτικός κύκλος. Κατά τη διαδικασία του καταιονισμού στον πύργο ψύξης, χάνεται μία ποσότητα νερού με τη μορφή ατμού και σταγονιδίων (σχήμα 4.5).

Στον άξονα του στροβίλου που περιστρέφεται με 3000 στρ./λεπτό είναι συνδεδεμένη η Γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική και μέσω ενός Μετασχηματιστή ανυψώσεως 21/400 KV και τροφοδοτεί το Εθνικό Δίκτυο Υπερυψηλής Τάσης (400 KV).

Για την παραγωγή 1KWh απαιτείται καύση περίπου 1,8 Kg λιγνίτη, θερμογόνου δύναμης 1300 Kcal/Kg και κατανάλωση 2,5 λίτρων ψυκτικού νερού.

4.2.4.2 Θάλαμοι ελέγχου

Ένα μεγάλο μέρος των οργάνων που είναι απαραίτητα για την παρακολούθηση της λειτουργίας των Μονάδων (αμπερόμετρα, βολτόμετρα, παροχόμετρα, θλιβόμετρα κ.λ.π.), τα χειριστήρια για την εκκίνηση και κράτηση των μηχανημάτων καθώς και οι ρυθμιστές ελέγχου ρυθμίζονται μέσω ηλεκτρονικών συστημάτων και είναι συνδεδεμένα με ειδικούς πίνακες μέσα στους θαλάμους ελέγχου των Μονάδων (Control rooms) (εικόνα 4.5).

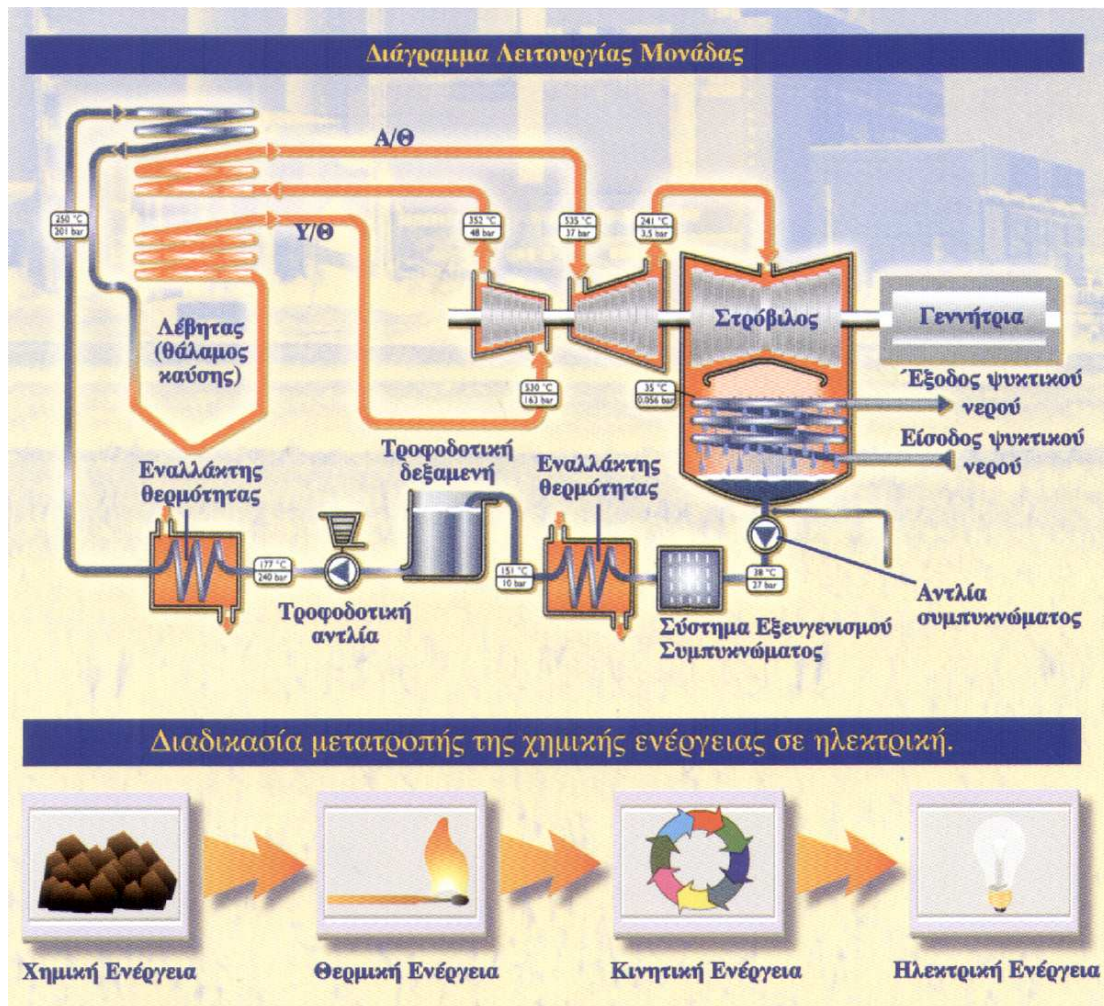
Ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου διαθέτει συνολικά έντεκα θαλάμους ελέγχου (τρεις για τον έλεγχο των μονάδων, έναν στο σύστημα διακίνησης λιγνίτη, τρεις στο σύστημα αποκομιδής τέφρας και τέσσερις στα συστήματα κατεργασίας νερών και αποβλήτων).

4.2.4.3 Διακίνηση λιγνίτη

Ο σταθμός για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιεί ως καύσιμο τον τοπικό λιγνίτη, ο οποίος μεταφέρεται από το Ορυχείο του Νότιου Πεδίου (εικόνα 4.6), από απόσταση 16,5 Km περίπου, κυρίως με ταινιόδρομους, και σε μικρές ποσότητες με φορτηγά αυτοκίνητα.

Ο λιγνίτης παραλαμβάνεται από το σταθμό μέσω ενός συστήματος ταινιόδρομων με τρία μηχανήματα (απολήπτες-αποθέτες), τα οποία έχουν τη δυνατότητα απόθεσης, απόληψης ή απ' ευθείας τροφοδότησης λιγνίτη.

Η ονομαστική ικανότητα παραλαβής λιγνίτη των ταινιόδρομων είναι 6000 tn/h. Ο δε λιγνίτης που μεταφέρουν μπορεί να αποθηκευθεί στην Αυλή λιγνίτη (μέσω των τριών αποθετών ικανότητας 3.500 tn/h ο καθένας) ή να προωθηθεί απ' ευθείας στο σύστημα σπαστήρων.



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα λειτουργίας μονάδας ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].



Εικόνα 4.5 Θάλαμος ελέγχου μονάδας (control room) ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

Στο σύστημα σπαστήρων ο λιγνίτης θρυμματίζεται σε κομμάτια μέγιστης διαμέτρου 4 cm για να μεταφερθεί ακολούθως στα σιλό λιγνίτη των μονάδων.

Η ημερήσια κατανάλωση λιγνίτη του σταθμού, όταν οι μονάδες λειτουργούν σε πλήρες φορτίο είναι της τάξης των 68.000 tn.

Τα χαρακτηριστικά του λιγνίτη καθώς και η ετήσια κατανάλωση ανά μονάδα φαίνονται στους πίνακες 4.3 και 4.4.

Κατά τη διάρκεια εκκινήσεων και κρατήσεων των μονάδων καθώς και για υποστήριξη της καύσης, όταν η ποιότητα του λιγνίτη είναι χαμηλότερη της προδιαγραφόμενης, χρησιμοποιείται πετρέλαιο (diesel), το οποίο είναι αποθηκευμένο σε δεξαμενή χωρητικότητας 5.000 m³.

Πίνακας 4.3. Γενικά χαρακτηριστικά συμβατικού καυσίμου (τοπικός λιγνίτης) ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	
Κατώτερη θερμαντική ικανότητα	1300 Kcal/Kg ή 5440 KJ/Kg
Ολική Υγρασία	57,2 %
Τέφρα Λιγνίτη	13,0 %



Εικόνα 4.6. Πανοραμική άποψη λιγνιτικού ορυχείου Νότιου Πεδίου (νομός Κοζάνης) [8].

Πίνακας 4.4 Ετήσια κατανάλωση λιγνίτη μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

ΜΟΝΑΔΕΣ	I	II	III	IV	V	Σύνολο
Ετήσια Κατανάλωση Λιγνίτη (εκ. τόνοι)	3,5	3,5	3,5	3,5	4,5	18,5

4.2.4.4 Λέβητες

Η διαδικασία της καύσης λιγνίτη λαμβάνει χώρα σε λέβητες εφαπτομενικής καύσης (με καυστήρες κονιοποιημένου λιγνίτη υπο γωνία), με υποπίεση στο θάλαμο καύσης. Η στεγανοποίηση του πυθμένα του λέβητα γίνεται μέσω του νερού της τεφρολεκάνης. Συμμετρικά γύρω από κάθε λέβητα είναι εγκατεστημένοι οχτώ μύλοι με τους αντίστοιχους τροφοδότες, στους οποίους οδηγείται ο λιγνίτης μέσω των σιλό λιγνίτη κάθε μονάδας (σχήμα 4.6).

Στον οχετό αναρρόφησης καυσαερίων των μύλων, μεταφέρεται ο λιγνίτης μέσω της πλακοταινίας του τροφοδότη, όπου αναμιγνύεται με τα καυσαέρια και ξηραίνεται. Κατά τη διαδικασία αυτή εξατμίζεται το 80% της υγρασίας του καυσίμου, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις ευθρυπτότητας και άλεσης του λιγνίτη στους μύλους.

Μέσω των καυστήρων, ο λιγνίτης καταθλίβεται στην εστία του λέβητα, όπου αναμιγνύεται με τον απαιτούμενο αέρα καύσης (που προσάγεται με δύο ανεμιστήρες) και καίγεται.

Τα παραγόμενα καυσαέρια από την καύση του λιγνίτη, απάγονται από τον λέβητα και οδηγούνται μέσω Ηλεκτροστατικών Φίλτρων στην ,εφοδιασμένη με δύο ανεμιστήρες αναρρόφησης καυσαερίων καμινάδα.

Στο λέβητα είναι εγκατεστημένοι περιφερειακά οι αυλοί ανόδου, όπου κυκλοφορεί βεβιασμένα αφαλατωμένο νερό. Αφού θερμανθεί το νερό αυτό στη θερμοκρασία εξάτμισης του, οδηγείται στο διαχωριστή, για να ξεχωρίσει το νερό από τον ατμό.

Από τον διαχωριστή ο ατμός οδηγείται μέσω συλλεκτών στους αυλούς υπέρθερμου ατμού. Μετά την υπερθέρμανση ο ατμός εισάγεται στο στρόβιλο Υψηλής Πίεσης, απ' όπου εξερχόμενος οδηγείται εκ νέου στο λέβητα (στους αυλούς του αναθερμαντή) και αναθερμαίνεται για να οδηγηθεί και πάλι στο στρόβιλο Μέσης και Χαμηλής Πίεσης.

Στο τέλος της διαδρομής των καυσαερίων του λέβητα βρίσκονται οι αυλοί του οικονομητήρα, όπου γίνεται η πρώτη προθέρμανση του νερού, προτού οδηγηθεί στους αυλούς ανόδου.

Οι λέβητες των Μονάδων I-II-III και IV έχουν ύψος 80 μέτρα, ενώ της μονάδας V 100 μέτρα και είναι αναρτημένοι (για λόγους διαστολών) από την οροφή του λεβητοστασίου.

Πίνακας 4.5 Χαρακτηριστικά λεβητών μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΒΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ					
Μονάδες	I	II	III	IV	V
Τύπος Λέβητα	SULZER	SULZER	SULZER	SULZER	BENSON
Μέγιστη ατμοπα- ραγωγή (T/h)	916	916	950	950	1.029
Ροή Υ/Θ Ατμού (T/h)	853,8	853,8	887,2	887,2	993,1
Πίεση Υ/Θ Ατμού (bar)	171,4	171,4	171,3	171,3	199
Θερμοκρασία Υ/Θ Ατμού (°C)	542	542	542	542	540
Πίεση Α/Θ Ατμού (bar)	40,1	40,1	39,7	39,7	32,6

Θερμοκρασία Α/Θ Ατμού (°C)	542	542	542	542	540
Θερμοκρ. Τροφ. Νερού (°C)	248	248	257	257	238
Βαθμός Απόδοσης (%)	87	87	87	87	88

4.2.4.5 Στρόβιλοι- Γεννήτριες

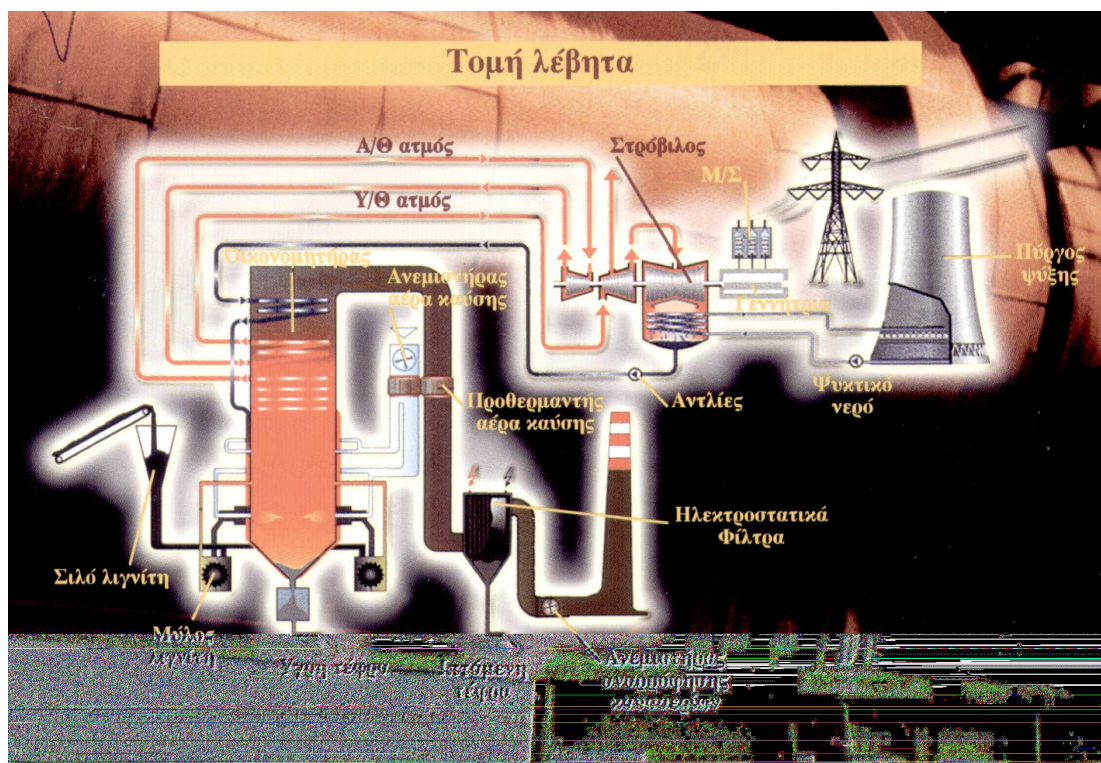
Ο στρόβιλος κάθε μονάδας αποτελείται από τρία πολυβάθμια συγκροτήματα εκτόνωσης της υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης.

Και τα τρία συγκροτήματα έχουν τον ίδιο άξονα περιστροφής, ενώ στον άξονα είναι προσαρμοσμένα κινητά πτερύγια, κατασκευασμένα από ειδικά κράματα μετάλλων.

Στον άξονα του στρόβιλου, που περιστρέφεται με ταχύτητα 3000 στρ./λεπτό, είναι προσαρμοσμένος ο ρότορας της γεννήτριας με το πεδίο διέγερσής της.

Οι γεννήτριες όλων των Μονάδων είναι σύγχρονες διπολικές. Η δε παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι τάσεως 21.000 Volt και συχνότητας 50 Hz.

Για την ψύξη του στάτη και ρότορα της γεννήτριας χρησιμοποιείται αέριο υδρογόνο και επιπλέον για την ψύξη του στάτη χρησιμοποιείται απιονισμένο νερό, το οποίο κυκλοφορεί μέσα στις μπάρες του στάτη που είναι κοίλες.



Σχήμα 4.6. Ενδεικτική τομή λέβητα μονάδας ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

Πίνακας 4.6 Χαρακτηριστικά στρόβιλων μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ					
ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	I	II	III	IV	V
Τύπος στρόβιλου	TANDEM	TANDEM	TANDEM	TANDEM	TANDEM

Στροφές στροβίλου	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Βαθμός απόδοσης (%)	45,29	45,29	45,55	45,55	46,53

Πίνακας 4.7. Χαρακτηριστικά γεννητριών μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ					
ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	I	II	III	IV	V
Φαινόμενη ισχύς (MVA)	335	335	344	344	431,5
Συντελεστής ισχύος	0,90	0,90	0,90	0,90	0,85
Τάση γεννήτριας (KV)	21	21	20	20	21
Ένταση Γεννήτριας (A)	9.164	9.164	9.940	9.940	11.863

4.2.4.6 Ψυκτικό νερό

Για τη συμπύκνωση του εξερχόμενου ατμού από τον στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης, καθώς και για την ψύξη των διαφόρων βοηθητικών μηχανημάτων λειτουργεί κλειστό κύκλωμα ψύξης (σχήμα 4.7).

Βασικό στοιχείο του ψυκτικού κυκλώματος είναι ο πύργος ψύξης, στον οποίο καταιονίζεται το θερμό νερό που επιστρέφει από το κύριο ψυγείο και τα μηχανήματα και εκτίθεται σε αντίθετα διερχόμενο ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που εισέρχεται από τη βάση του πύργου (φυσικός εκλυσμός) (σχήμα 4.6.&4.7).

Το κύκλωμα ψύξης της μονάδας είναι τύπου ανοικτής ανακυκλοφορίας.

Οι πύργοι ψύξης των μονάδων I, II έχουν ύψος 95 μέτρα, των μονάδων III, IV 104 μέτρα και της μονάδας V 108 μέτρα.

Το νερό, αφού ψυχθεί από τον καταιονισμό και τη μερική εξάτμισή του μέσα στον πύργο ψύξης, συγκεντρώνεται στη λεκάνη του πύργου και από εκεί παραλαμβάνεται από τις αντλίες κυκλοφορίας και επαναχρησιμοποιείται.

Η ποσότητα του εξαμιζόμενου νερού είναι περίπου 1,7 m³/MWh. Επειδή όμως η εξάτμιση αυτή προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων αλάτων του ψυκτικού νερού, ένα μέρος αυτού πρέπει να απομακρύνεται από το κύκλωμα. Για το λόγο αυτό μια ποσότητα ψυκτικού νερού της τάξης των 0,8 m³/MWh αποβάλλεται από το κύκλωμα (στρατσώνα του πύργου ψύξης).

Οι απώλειες αυτές αναπληρώνονται με νέο νερό του συστήματος υδροδότησης από το οποίο έχει απομακρυνθεί η παροδική σκληρότητα. Το νερό αυτό παράγεται στις εγκαταστάσεις αποσκλήρυνσης και διήθησης των μονάδων του σταθμού.

4.2.4.7 Σύστημα υδροδότησης

Η τροφοδοσία του σταθμού με ακατέργαστο νερό εξασφαλίζεται από τη λίμνη Πολυφύτου μέσω τριών αντλιοστασίων συνολικής ικανότητας 8.500 m³/h που είναι εγκατεστημένα σε σειρά και εξυπηρετούν τους ΑΗΣ του λεκανοπεδίου Κοζάνης-Πτολεμαΐδας.

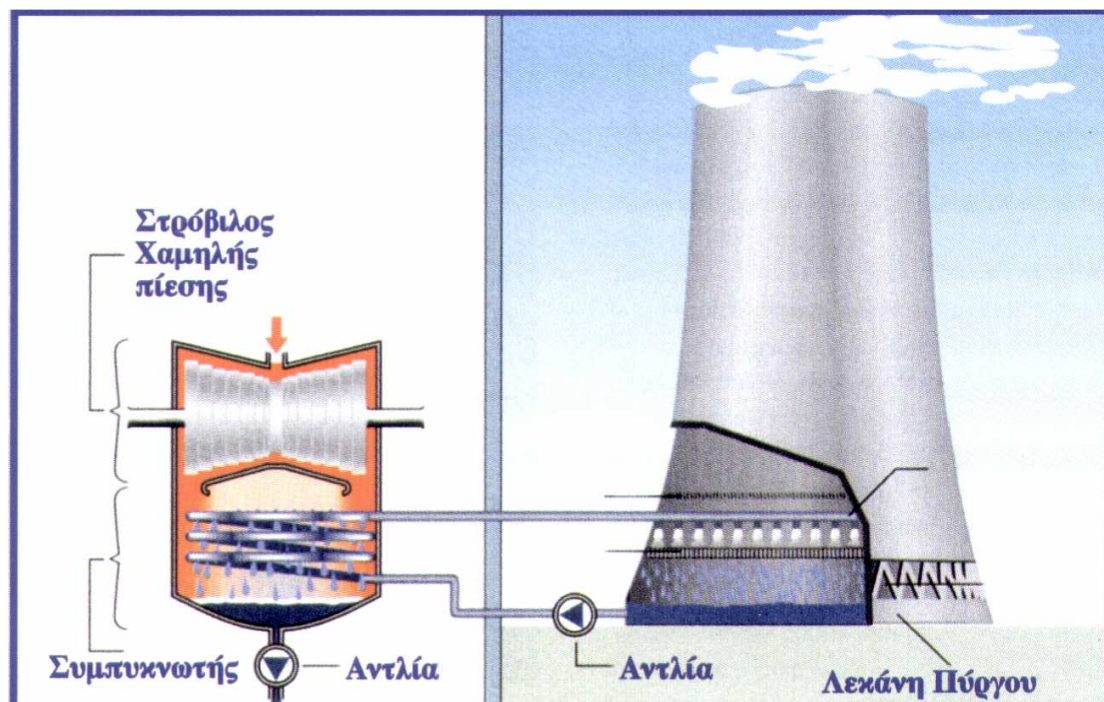
Το βιομηχανικής χρήσης νερό χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση των απωλειών των ψυκτικών κυκλωμάτων, του θερμικού κύκλου και για τις ανάγκες πυρόσβεσης του σταθμού.

Η μέγιστη ποσότητα βιομηχανικού νερού που καταναλώνεται είναι περίπου ίση με 4.200 m³/h. Από το νερό αυτό η μεγαλύτερη ποσότητα χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση των απωλειών των κυκλωμάτων ψύξης, αφού προηγουμένως υποστεί μερική αποσκλήρυνση, με αποβολή της παροδικής του σκληρότητας με χρήση υδρασβέστου.

Η αποσκλήρυνση του ψυκτικού νερού είναι απαραίτητη για να μη δημιουργηθούν επικαθίσεις αλάτων στις σωληνώσεις του ψυκτικού κυκλώματος. Μία ποσότητα αποσκληρυμένου νερού τροφοδοτεί το κύκλωμα αφαλάτωσης (απιονισμού) που λειτουργεί με τη χρήση ιοντοεναλλακτικών ρητινών, για την παραγωγή του αφαλατωμένου νερού που απαιτείται για τις ανάγκες του θερμικού κύκλου των Μονάδων του σταθμού.

Πίνακας 4.8 Ετήσια κατανάλωση νερού μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ					
ΜΟΝΑΔΕΣ	I	II	III	IV	V
(εκατ. Τόνοι)	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0



Σχήμα 4.7. Σύστημα υδροδότησης μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

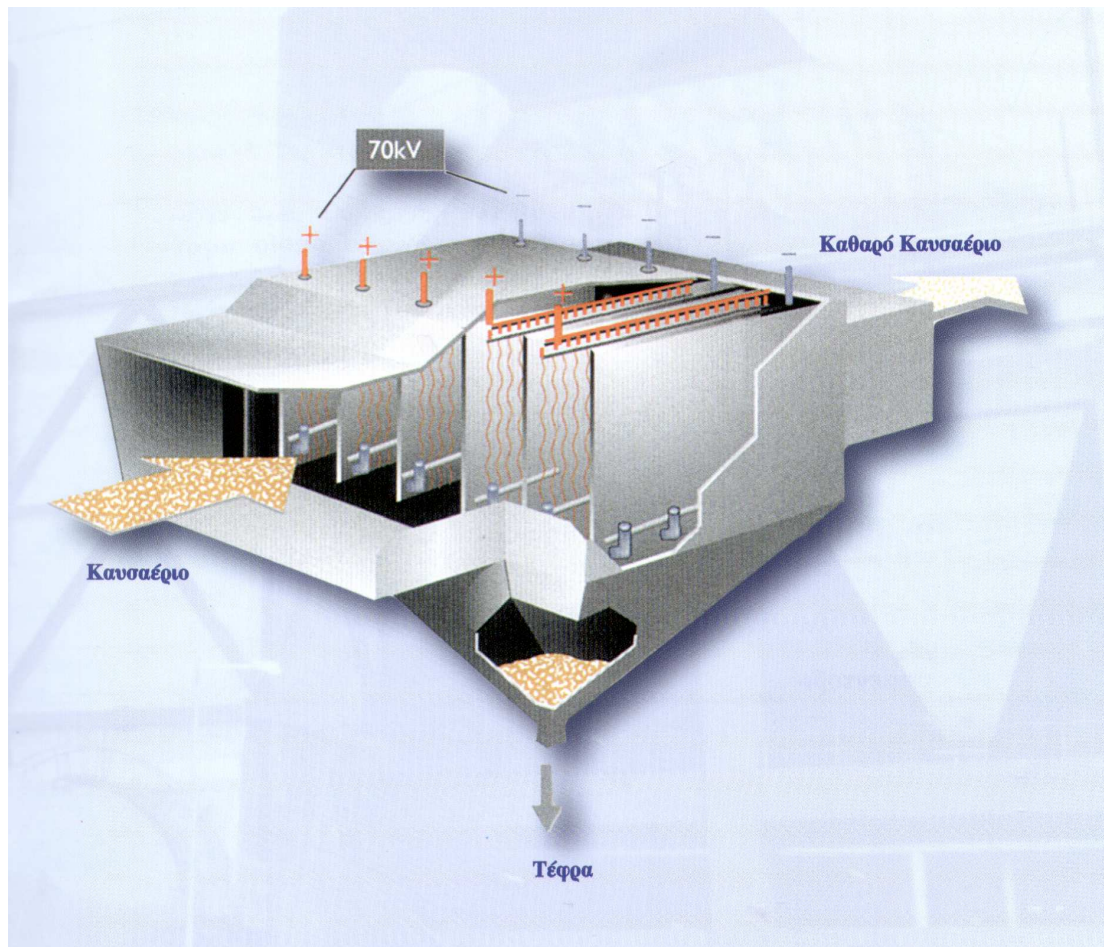
4.2.4.8 Ηλεκτροστατικά φίλτρα

Τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του λιγνίτη στους λέβητες, πριν οδηγηθούν στις Καμινάδες, διέρχονται από ογκώδεις διατάξεις κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (Η/Φ) (σχήμα 4.8).

Στα Η/Φ (βλέπε και κεφάλαιο 5), τα σωματίδια της τέφρας, εκτίθενται σε συνεχές ηλεκτρικό πεδίο υψηλής τάσης (40 έως 50 KV), με αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε ιόντα που τελικά συλλέγονται από τα ηλεκτρόδια συλλογής (πλάκες συλλογής) των φίλτρων. Τα φίλτρα αυτά έχουν υψηλή απόδοση (99,5% με μέγιστη συνεχή ικανότητα).

Ένα σύστημα σφυριών αποκολλά την τέφρα από τα ηλεκτρόδια συλλογής, που τελικά συγκεντρώνεται στα σιλό των Η/Φ.

Τα καυσαέρια, αφού απαλλαγούν από την τέφρα στα Η/Φ, οδεύουν προς τις καμινάδες, οι οποίες είναι διπλού τοιχώματος και έχουν ύψος 200 μέτρα.



Σχήμα 4.8 Σχεδιάγραμμα γενικής λειτουργίας ηλεκτροστατικού φίλτρου [8].

4.2.4.9 Αποκομιδή τέφρας

Από τα σιλό των ηλεκτροστατικών φίλτρων η τέφρα που κατακρατήθηκε από τα καυσαέρια (ιπτάμενη τέφρα) οδηγείται, με τη χρήση συστήματος αέρα, σε ένα κεντρικό "σιλό" από σκυρόδεμα. Στη βάση του κεντρικού "σιλό" είναι εγκατεστημένο ένα σύστημα υγραντών, το οποίο αφού διαβρέξει την τέφρα, την οδηγεί στους ταινιόδρομους, στους οποίους αποτίθεται και η τέφρα των τεφρολεκανών, που είναι εγκατεστημένες κάτω από τους λέβητες των Μονάδων (υγρή τέφρα).

Οι ταινιόδρομοι, συνολικού μήκους 11 χλμ., μεταφέρουν την τέφρα στο ορυχείο και την αποθέτουν μαζί με τα άγωνα υλικά εκσκαφής στους χώρους όπου αφαιρέθηκε ο λιγνίτης.

Οι χώροι αυτοί επικαλύπτονται τελικά με φυτική γη και είναι ξανά κατάλληλοι για καλλιέργειες.

Στο σταθμό υπάρχουν και εγκαταστάσεις φόρτωσης της τέφρας σε κλειστά σιλοφόρα αυτοκίνητα για πώληση της στις τσιμεντοβιομηχανίες.

4.2.4.10 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Ο σταθμός διαθέτει τέσσερα ανεξάρτητα συστήματα για να επεξεργαστεί τα αποβαλλόμενα υγρά απόβλητά του:

1. Συγκρότημα εξουδετέρωσης υγρών βιομηχανικών απονέρων που προέρχονται από τις αναγεννήσεις των ιοντοεναλλακτικών ρητίνων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αφαλατωμένου νερού και τον καθαρισμό του συμπυκνώματος των Μονάδων.
2. Συγκρότημα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων, το οποίο περιλαμβάνει δύο κλάδους με ικανότητα επεξεργασίας μέχρι 100 m³/ημέρα (εικόνα 4.7). Η αρχή λειτουργίας του συστήματος στηρίζεται στη μέθοδο "παρατεταμένου αερισμού ενεργοποιημένης λάσπης". Προ του συγκροτήματος αυτού υπάρχει εγκατάσταση συλλογής των λιπών και λαδιών.
3. Συγκρότημα κατεργασίας βιομηχανικών υγρών απονέρων ονομαζόμενο S1. Στο συγκρότημα αυτό, που είναι ικανότητας κατεργασίας 650 m³/h, γίνεται εξουδετέρωση, κροκίδωση και μερική διαύγαση με καθίζηση, στα βιομηχανικά απόνερα του σταθμού (υπερχείλιση τεφρολεκανών, νερά από την ψύξη των μηχανημάτων, βρόχινα νερά κ.λ.π).
4. Συγκρότημα τελικής επεξεργασίας των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και των νερών της βροχής του σταθμού, που ονομάζεται S3. Στο συγκρότημα αυτό, που είναι ικανότητα 2000 m³/ h, συγκεντρώνονται όλα τα απόβλητα του σταθμού, δηλαδή τα ήδη κατεργασμένα απόβλητα από τα συστήματα βιολογικού καθαρισμού και από την μονάδα επεξεργασίας S1 των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, τα απόνερα του συστήματος λιγνίτη καθώς και οι υπερχειλίσεις των πύργων ψύξης. Στις εγκαταστάσεις του γίνεται πρωτοβάθμια καθίζηση, κροκίδωση, δευτεροβάθμια καθίζηση και τελική ρύθμιση της οξύτητας των επεξεργασμένων απονέρων (pH), ούτως ώστε τα εξερχόμενα από το σταθμό νερά να είναι κατάλληλα για όλες τις χρήσεις πλην πόσης.

Πίνακας 4.9. Ετήσια επεξεργασία αποβλήτων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (εκ.τόνοι) [8].

	Νερό	Λάσπη
ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΚ. ΤΟΝΟΙ)	10,0	2,0

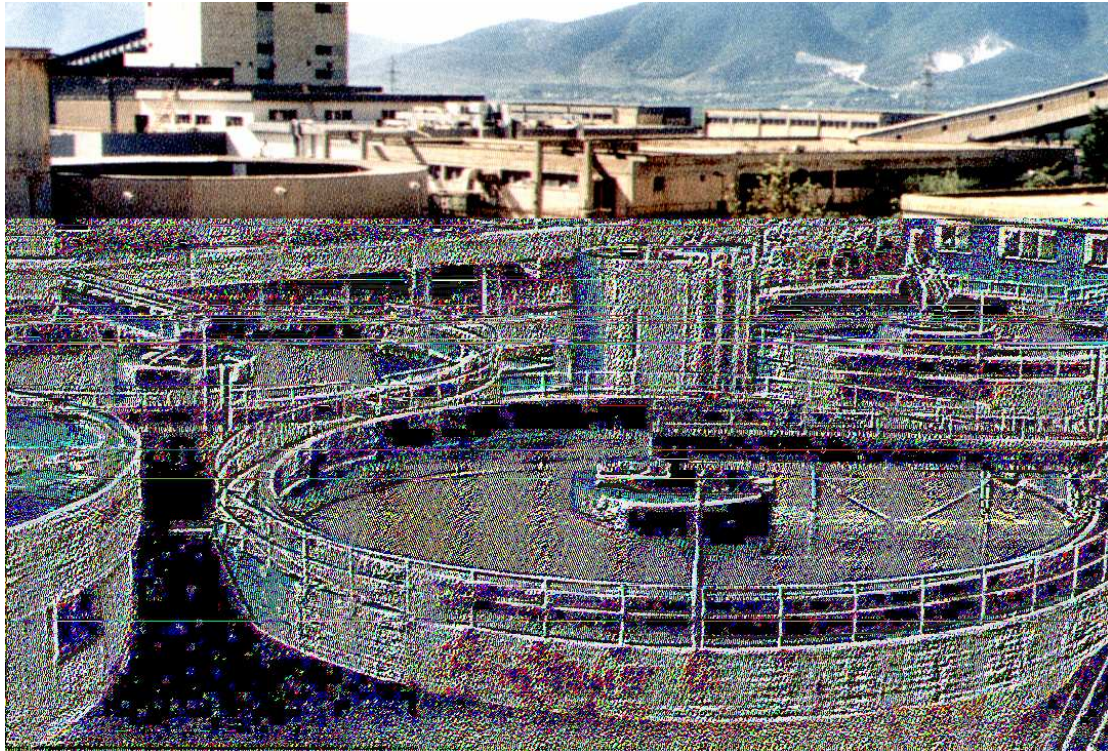
4.2.4.11 Συστήματα τηλεθέρμανσης

Στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένα τρία ανεξάρτητα συγκροτήματα παραγωγής θερμού νερού για την Τηλεθέρμανση της πόλης της Κοζάνης. Τα συγκροτήματα αυτά, που είναι το καθένα ισχύος 70 MW (θερμικών), τροφοδοτούνται από διαφορετικές Μονάδες (III,IV,V) για λόγους εφεδρείας, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται πάντοτε η Τηλεθέρμανση της Κοζάνης ακόμα και στην περίπτωση που δύο από τις παραπάνω Μονάδες τεθούν εκτός λειτουργίας.

Κάθε συγκρότημα περιλαμβάνει δύο εναλλάκτες θερμότητας, που τροφοδοτούν με ατμό από απομαστεύσεις του Στροβίλου Μέσης Πίεσης και θερμαίνουν το νερό που έρχεται από το κλειστό κύκλωμα τηλεθέρμανσης της πόλης από τους 50°C στους 120°C σε πίεση λειτουργίας 10 bar.

Με την παροχή θερμικής ενέργειας στην πόλη της Κοζάνης, που χρεώνεται στους κατοίκους της σε χαμηλή τιμή, βελτιώνεται αισθητά το περιβάλλον από τη ρύπανση

που προκαλούσαν οι καυστήρες πετρελαίου των σπιτιών κατά τους χειμερινούς μήνες.



Εικόνα 4.7. Βιολογικός καθαρισμός ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

4.2.5.12 Γενικό ηλεκτρικό διάγραμμα μονάδων

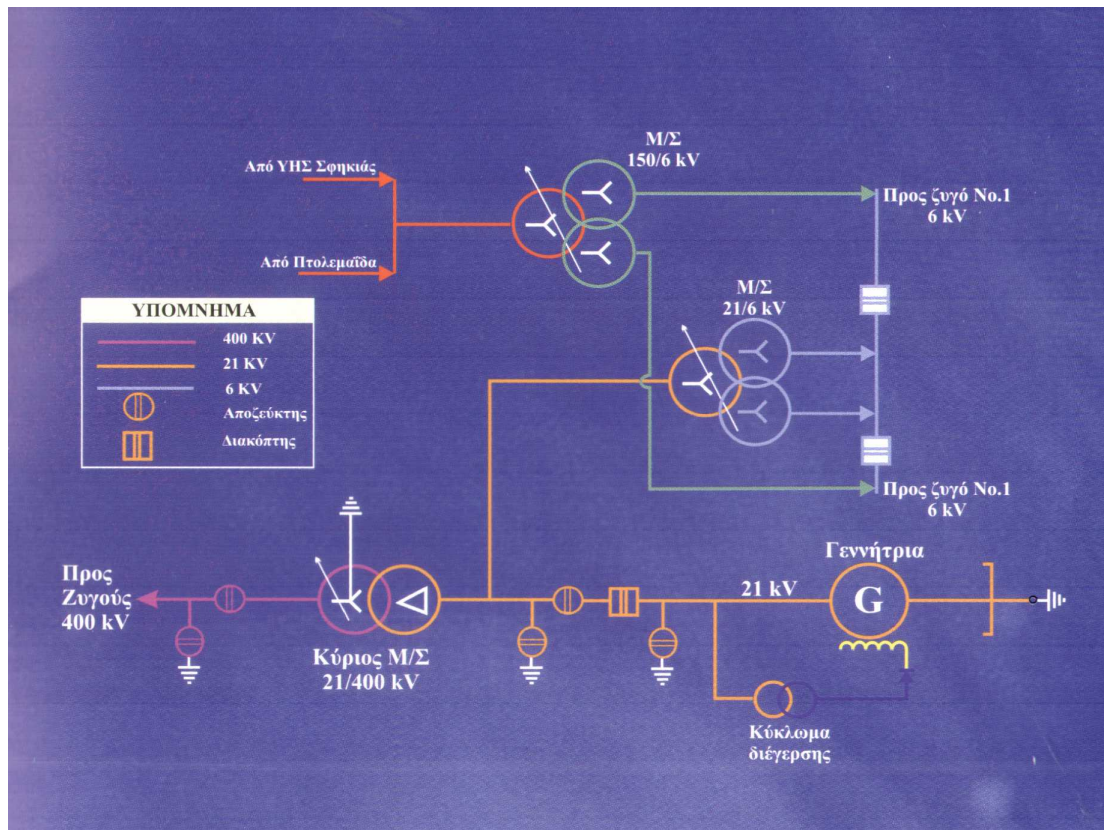
Στην έξοδο της γεννήτριας είναι εγκατεστημένος ο Κύριος Μετασχηματιστής της Μονάδας, ο οποίος ανυψώνει την τάση στα 4 MV και τροφοδοτεί το Εθνικό Δίκτυο Μεταφοράς.

Η τροφοδότηση των μηχανημάτων της ίδιας της μονάδας γίνεται μέσω ενός μετασχηματιστή block 21/6 KV (αυτοτροφοδότηση).

Η ιδιοκατανάλωση της Μονάδας ανέρχεται περίπου στο 10% της παραγωγής ενέργειας.

Όταν η μονάδα είναι εκτός λειτουργίας, η τροφοδότηση των μηχανημάτων της γίνεται από το δίκτυο υψηλής τάσης μέσω Μετασχηματιστή 150/6 KV.

Στο σχήμα 4.9 φαίνεται το γενικό ηλεκτρικό διάγραμμα μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.



Σχήμα 4.9. Γενικό ηλεκτρικό διάγραμμα μονάδων ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου [8].

4.3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) χαρακτηρίζονται ανάλογα με το αν το νερό προέρχεται από την συνεχή ροή ενός ποταμού (ΥΗΣ φυσικής ροής) ή από μια δεξαμενή σε σταθμούς φυσικής ροής ή σταθμούς δεξαμενής (ΥΗΣ δεξαμενής) όπως θα αναπτυχθούν παρακάτω. Εδώ πρέπει να αναφερθεί, ότι στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς δεξαμενής κατατάσσονται και οι υδροαντλητικοί σταθμοί. Αυτοί χρησιμοποιούνται για την διευθέτηση ισχύος: Κατά τη διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν ενέργεια που παίρνουν από το δίκτυο σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, π.χ. τη νύχτα και τη δίνουν πάλι στο δίκτυο σε περιόδους αιχμής, π.χ. το μεσημέρι.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής σε σύγκριση με θερμικούς σταθμούς, συνήθως διπλάσιο ή παραπάνω του κόστους των θερμικών. Η παραγωγή τους εξαρτάται από το πόσο νερό είναι διαθέσιμο, πράγμα που χαρακτηρίζεται με τον όρο υδραυλικότητα. Υπάρχουν δηλαδή, έτη με μεγάλη ή μικρή υδραυλικότητα. Σαν λειτουργικά πλεονεκτήματα των ΥΗΣ μπορεί να αναφερθούν το ασήμαντο κόστος λειτουργίας, η γρήγορη και απλή διαδικασία εκκίνησης τους (απαιτούνται μόνο χρόνοι λεπτών), η ταχεία ρύθμιση ισχύος και το ότι δεν ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα.

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται η κινητική ή και δυναμική ενέργεια του τρεχούμενου νερού σε μηχανική ενέργεια μέσω ενός υδροστρόβιλου που λειτουργεί, σ' αυτή την περίπτωση, σαν μετατροπέας ενέργειας. Η γεννήτρια, που είναι σε κοινό άξονα με τον υδροστρόβιλο, μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Ανάλογα με την υψομετρική διαφορά του νερού που διεργάζονται τα εργοστάσια τα διακρίνουμε σε σταθμούς χαμηλής (0-20m), μέσης (20-100m) και υψηλής

πίεσης ($> 100\text{m}$). Οι υψομετρικές διαφορές που διεργάζονται είναι από μερικά μέτρα, π.χ. 3 m, μέχρι και 1500 m περίπου. Οι σταθμοί στη χώρα μας είναι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δεξαμενής κατά κανόνα, ρυθμιζόμενοι στην ισχύ τους. Αυτοί, όπως θα δούμε (σχ. 4.10 έως 4.12), χρησιμοποιούν το νερό που είναι αποθηκευμένο σε μια δεξαμενή χωρητικότητας τάξης μεγέθους 10^9m^3 . Στο εξωτερικό, σε μεγάλα ποτάμια (Ρήνος), χρησιμοποιούνται και σταθμοί φυσικής ροής. Εδώ, χρησιμοποιείται η ροή του ποταμού για την παραγωγή ενέργειας (σχ. 4.10 έως 4.12). Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από την γεννήτρια είναι η δυναμική ενέργεια του νερού επί ένα βαθμό απόδοσης που είναι το γινόμενο της απόδοσης των αγωγών $\eta_a=0,93.. 0,99$, του στρόβιλου $\eta_t=0,85$ έως 0,94 και της γεννήτριας $\eta_g=0,95$ έως 0,99. Ο ολικός βαθμός της απόδοσης ενέργειας η κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,75 και 0,92.

Η ισχύς P υπολογίζεται ακολούθως:

$$P = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot H \quad \text{όπου}$$

$\eta = \eta_a \cdot \eta_t \cdot \eta_g$ ο ολικός βαθμός απόδοσης,

γ είναι το ειδικό βάρος του νερού σε N/m^3 , δηλ. $\gamma = 9.807 \text{ N/m}^3$,

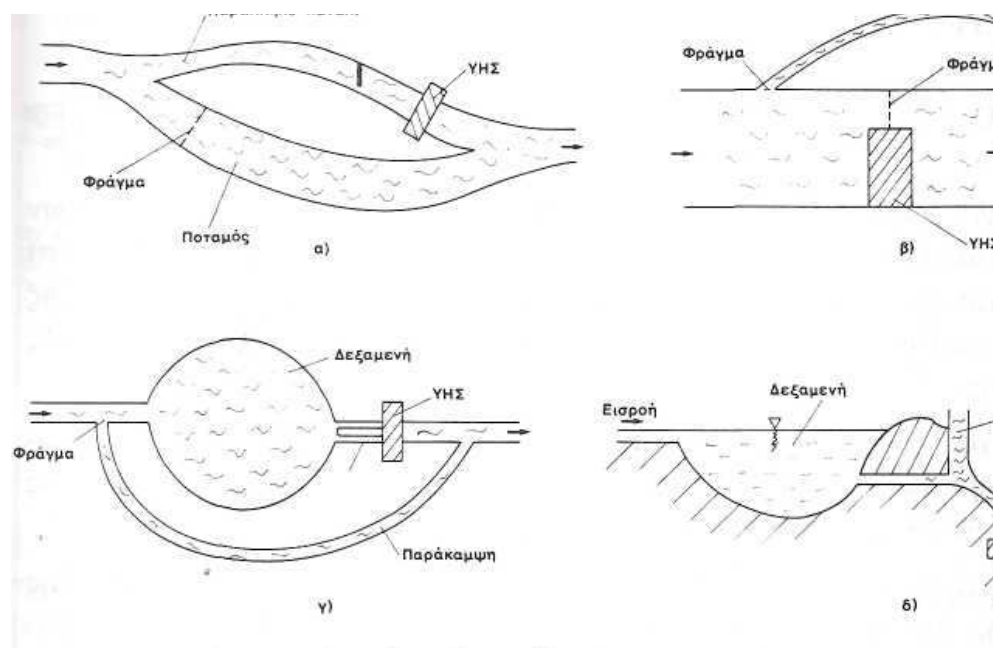
Q είναι η παροχή νερού στο στρόβιλο σε m^3/s ,

H είναι η διεργαζόμενη διαφορά σε m.

Για ένα βαθμό απόδοσης 0,82 η ισχύς είναι περίπου:

$$P \approx 8 \cdot Q \cdot H \quad (\text{kW})$$

όπου Q είναι σε m^3/s και H σε m.



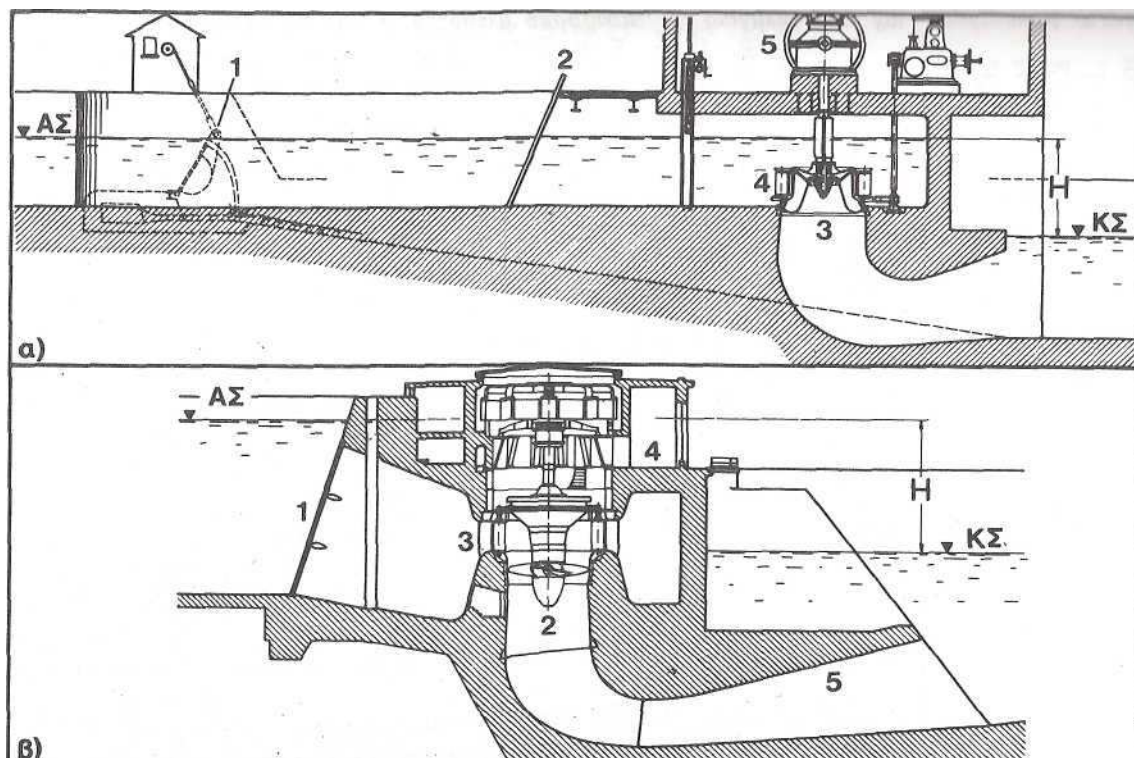
Σχήμα 4.10. Απλοποιημένες διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων ΥΗΣ [7].

α) ΥΗΣ σε κανάλι παράλληλο με ποτάμι, κάτοψη.

β) ΥΗΣ σε ποτάμι, κάτοψη.

γ) ΥΗΣ σε δεξαμενή με τούνελ παράκαμψης (Καστράκι), κάτοψη.

δ) ΥΗΣ δεξαμενής σε τομή



Σχήμα 4.11 Μορφές υδροηλεκτρικών σταθμών [7].

ΑΣ=Άνω Στάθμη Νερού, ΚΣ-Κάτω Στάθμη Νερού,

α) ΥΗΣ σε κανάλι παράλληλο σε ποτάμι.

1. αποφρακτική πόρτα, 2. σχάρα, 3. στρόβιλος, 4. ρυθμιζόμενα ακίνητα πτερύγια, 5. γεννήτρια.

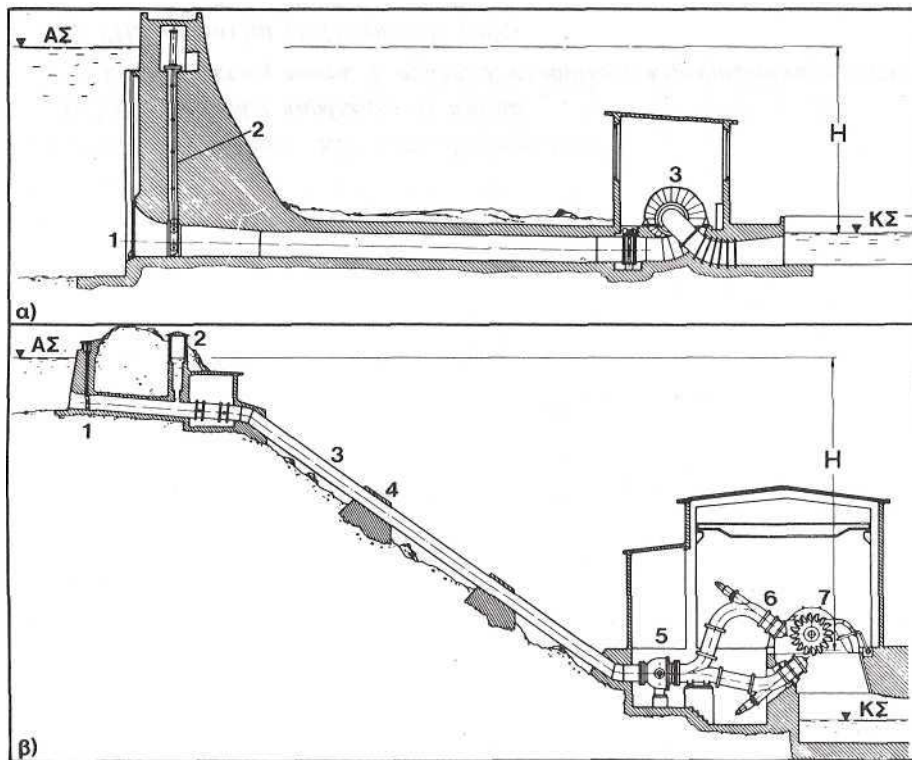
β) ΥΗΣ σε ποτάμι (ΥΗΣ φυσικής ροής)

1. σχάρα, 2. στρόβιλος, 3. ρυθμιζόμενα ακίνητα πτερύγια 4. γεννήτρια, 5. σωλήνας αναρρόφησης.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των ΥΗΣ είναι, ότι η ισχύς τους ρυθμίζεται σε χρόνους πολύ πιο σύντομους από ότι σε ένα ΑΗΣ. Έτσι χρησιμοποιούνται σαν ρυθμιστικά εργοστάσια για την ρύθμιση ροής ισχύος στο δίκτυο εκεί, όπου απαιτούνται μικρές χρονικές σταθερές ρύθμισης. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ο σταθμός του Καστρακίου για την ρύθμιση της ροής ισχύος μεταξύ Ελλάδας και Γιουγκοσλαβίας. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ανήκουν στα μεγαλύτερα τεχνικά έργα. Συνδυάζουν, πολλές φορές, την παραγωγή ενέργειας και την άρδευση. Η πραγματοποίησή τους όμως είναι πολυδάπανη και μακροχρόνια.

Οι υδροστρόβιλοι εργάζονται αποδοτικά σε περιστροφικές ταχύτητες κάτω των 50 Hz (=300/min). Έτσι χρειάζεται μια προσαρμογή της ταχύτητας τους με την ταχύτητα του δικτύου που είναι 50 Hz. Αυτό γίνεται με κατάλληλη εκλογή του αριθμού των πόλων της γεννήτριας. Η αλλαγή της ταχύτητας με γρανάζια (κιβώτια μετατροπής ταχύτητας) είναι συνήθως μια τεχνικά ασύμφορη λύση.

Σε συνδυασμό με τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς χρησιμοποιούνται οι όροι πρωτογενής και δευτερογενής ενέργεια. Πρωτογενής ενέργεια είναι εκείνη που ρυθμίζεται και μπορεί να προσαρμοσθεί στην κατανάλωση, π.χ. σε διάφορους σταθμούς δεξαμενής. Δευτερογενής ενέργεια είναι εκείνη που δεν μπορεί να προσαρμοσθεί στη ζήτηση, όπως π.χ. στα εργοστάσια φυσικής ροής.



Σχήμα 4.12 (συνέχεια του σχ. 4.11) Μορφές υδροηλεκτρικών σταθμών [7].

α) ΥΗΣ στον πυθμένα χαράδρας.

1. σχάρα, 2. αποφρακτικό όργανο, 3. στρόβιλος

β) ΥΗΣ δεξαμενής υψηλής στάθμης.

1. αποφρακτικό όργανο, 2. δεξαμενή απόσβεσης, 3. σωλήνας, π.χ. 8m διαμέτρου, 4. στερέωση (αγκύρωση) στο έδαφος, 5. σφαιροειδής βαλβίδα, 6. βελονοειδής βαλβίδες ρύθμισης ισχύος, 7. στρόβιλος Pelton.

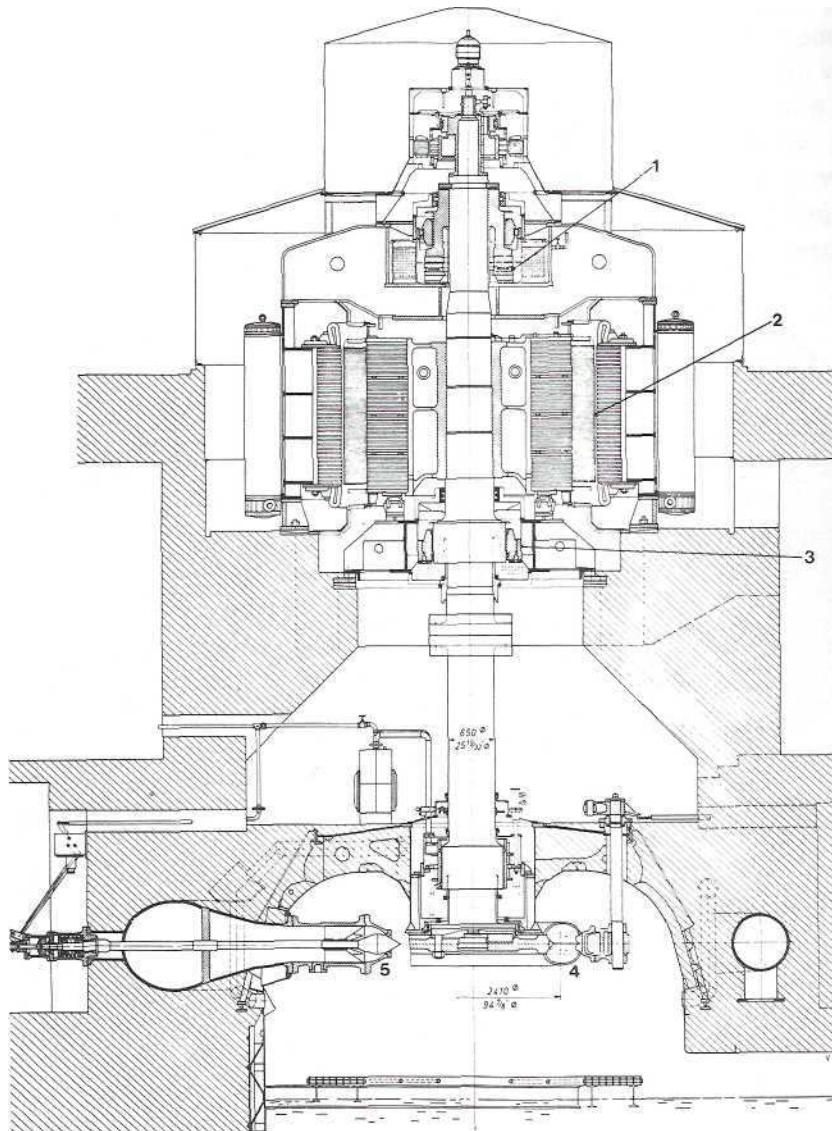
4.3.1 Υδροστρόβιλοι

Ανάλογα με την υψομετρική διαφορά H και την παροχή του νερού στον υδροηλεκτρικό σταθμό χρησιμοποιούνται διαφορετικοί στρόβιλοι. Με λίγες εξαιρέσεις οι στρόβιλοι ανήκουν στις εξής κατηγορίες:

α) Ελεύθερης δέσμης ή Pelton για $H > 100$ m

β) Francis για $H = 30-800$ m

γ) Kaplan για $H = 2-80$ m

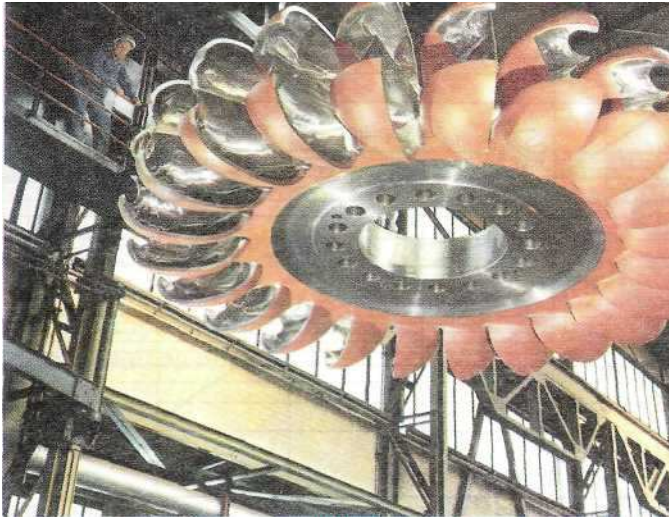


Σχήμα 4.13. Εγκατάσταση στροβίλου Pelton, τομή [7].

1. ωστικό έδρανο, 2. γεννήτρια, 3. οδηγόν έδρανο, 4. Pelton τροχός, 5. βελονοειδής βαλβίδα.

Υψομετρική διαφορά $H=559$ m, παροχή νερού $Q=12,48$ m³/s, ταχύτητα $n=400$ /min, ισχύς $P=61,2$ MW

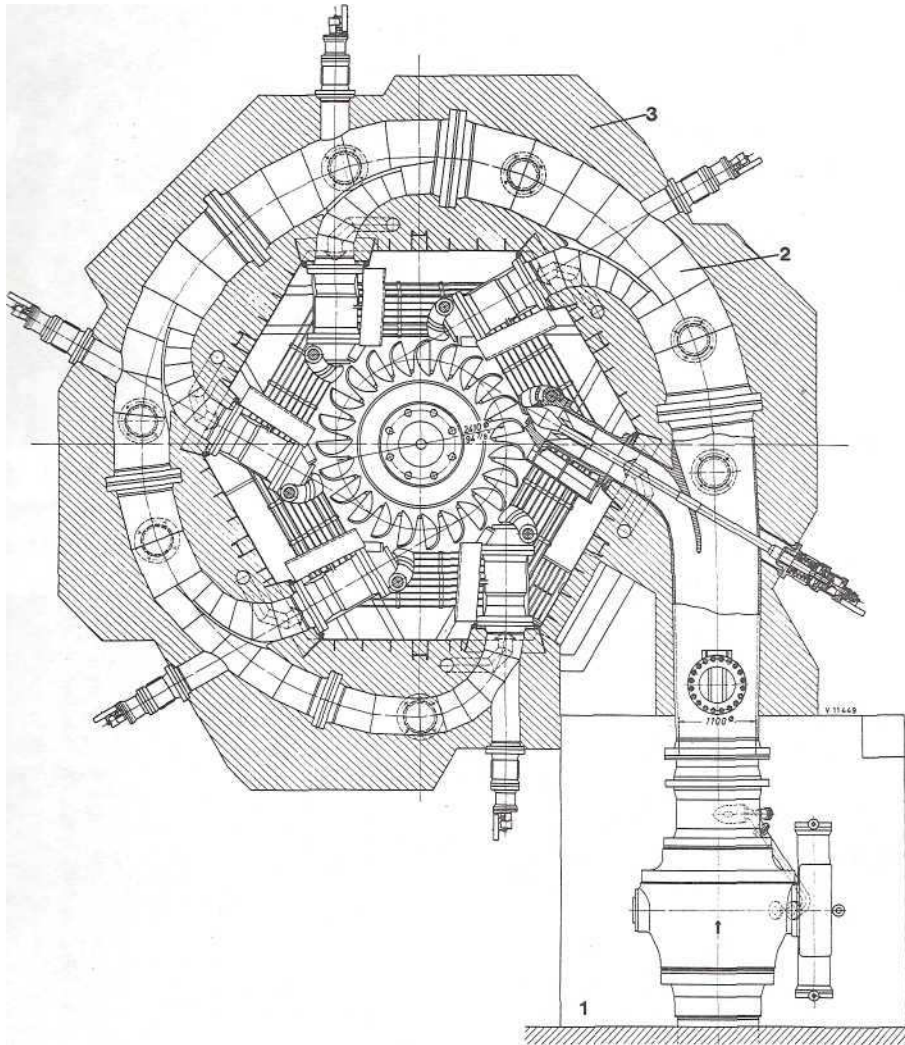
Στους στροβίλους Pelton (εικ. 4.8, 4.9 και σχ. 4.13, 4.14) το νερό προσάγεται σε πολλά ακροφύσια διατεταγμένα ισομετρικά γύρω από τον τροχό Pelton. Εκεί το νερό εκρέει και η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική. Η δέσμη του νερού που εκρέει από κάθε ακροφύσιο χτυπά εραπτομενικά στο τροχό Pelton που φέρει πτερύγια. Η ρύθμιση ισχύος γίνεται με βελονοειδείς βαλβίδες. Υπάρχουν όμως, εμπρός από τα ακροφύσια και ανακλαστές της δέσμης νερού που μπορούν να τεθούν σε μικρό χρόνο μπρος στην δέσμη νερού και να την αποκλίνουν από το να πέσει πάνω στα πτερύγια. Έτσι, μπορεί η ισχύς να μηδενισθεί σε διάστημα μερικών δεκάτων δευτερολέπτων. Στους στροβίλους Pelton η υδροστατική πίεση στα πτερύγια είναι παντού η ίδια. Σε κάθε στιγμή μόνο ορισμένα πτερύγια, π.χ. 6, έχουν επαφή με το νερό και έτσι όπως κινείται ο τροχός, αυτά τα πτερύγια εναλλάσσονται.



Εικόνα 4.8. Τροχός Pelton [7].
 Υψομετρική διαφορά $H=587\text{m}$, ισχύς $F=174,4\text{MW}$, βάρος $23,51\text{ t}$, διάμετρος $4,1\text{ m}$, ταχύτητα $300/\text{min}$.



Εικόνα 4.9. Τροχός Pelton με 6 ακροφύσια [7].
 Φαίνονται οι κωνικές βελόνες των βελονοειδών βαλβίδων και οι ανακλαστήρες της δέσμης νερού.
 $H=1233\text{ m}$, $P=260\text{ MW}$, $D=2,85\text{ m}$, $\eta=300/\text{min}$.



Σχήμα 4.14. Εγκατάσταση στροβίλου Pelton, κάτοψη από το σχήμα 4.13 [7].

1. αποφρακτικό όργανο, 2. σωλήνας σπειροειδής με 6 ακροφύσια, 3. οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στους στροβίλους Francis (εικ. 4.10, σχ. 4.15) το νερό, αφού περάσει από ρυθμιστικές διατάξεις, οδηγείται σε ένα δακτυλειώδη, τοροϊδή σωλήνα. Εκεί εκκρίει από σχισμές στην εσωτερική περιφέρεια του και πέφτει στα πτερύγια του στροβίλου. Στις σχισμές εκροής υπάρχουν πτερύγια ρύθμισης. Αλλάζοντας την θέση τους το νερό εκκρίει με αλλαγμένη κατεύθυνση. Έτσι, ρυθμίζεται η ισχύς. Όλος ο στρόβιλος βρίσκεται στο νερό και η υδροστατική πίεση είναι μεγαλύτερη στην είσοδο απ' ό τι στην έξοδο.

Οι στρόβιλοι Kaplan (εικ.4.10, 4.11 και σχ. 4.22,4.23) έχουν ανάλογη αρχή λειτουργίας όπως οι Francis, πλην των κινητών πτερυγίων, τα οποία είναι και αυτά ρυθμιζόμενα όπως τα σταθερά πτερύγια.

Στους στροβίλους Kaplan και Francis υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της μηχανής σε αντιδιαστολή με τους στροβίλους Pelton, όπου η πίεση είναι ενιαία. Γι' αυτό οι δύο προαναφερθέντες τύποι ονομάζονται στρόβιλοι υπερπίεσης.

Σε υδροστροβίλους, κυρίως σε περιοχές μεγάλης ταχύτητας του νερού, δημιουργούνται υποπίεσεις με αποτέλεσμα να εξατμίζεται εκεί το νερό. Ακολούθως οι ατμοί συμπυκνώνονται πάνω στις επιφάνειες των πτερυγίων με αποτέλεσμα την διάβρωση των πτερυγίων. Αυτό το φαινόμενο λέγεται

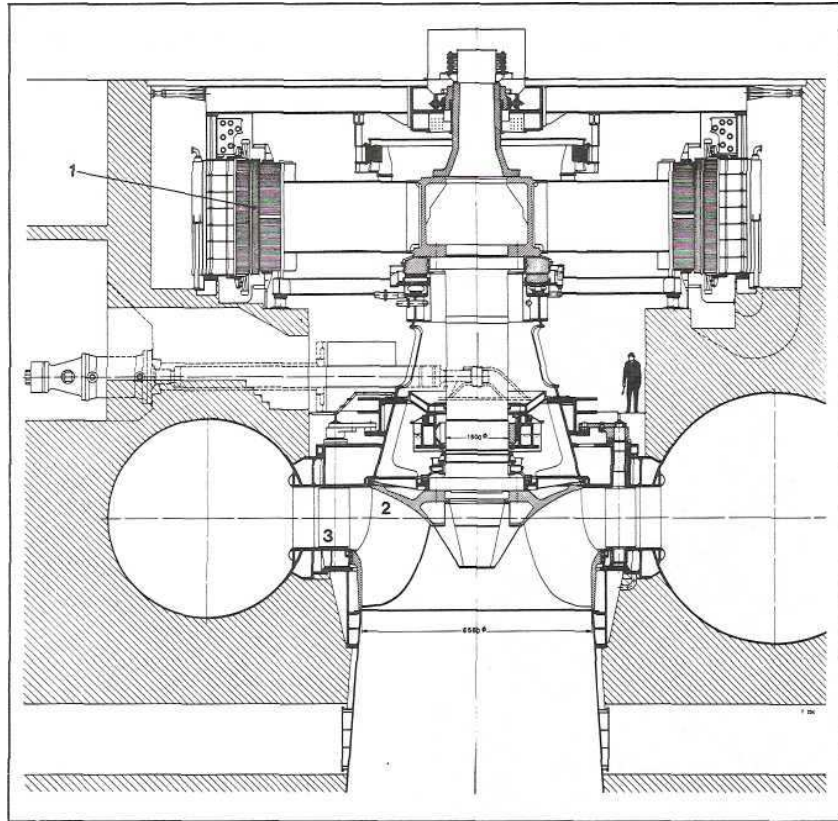
σπηλαίωση (Cavitation) και μπορεί να καταστρέψει κυρίως τα κινούμενα πτερύγια. Αποφεύγεται μόνο με κατάλληλο σχεδιασμό του στροβίλου.



Εικόνα 4.10. Τροχός Francis [7].



Εικόνα 4.11. Ακίνητα ρυθμιζόμενα πτερύγια τύπου Kaplan [7].
 $H=29,3$ m, $P=102,7$ MW, $n=93,75$ /min



Σχήμα 4.15. Εγκατάσταση στροβίλου Francis και γεννήτριας στην Cabora Bassa, Mosambique, Αφρική [7].

$H=113,5$ m, $Q=415$ m³/s, $n=107,1$ /min, $P=415$ MW

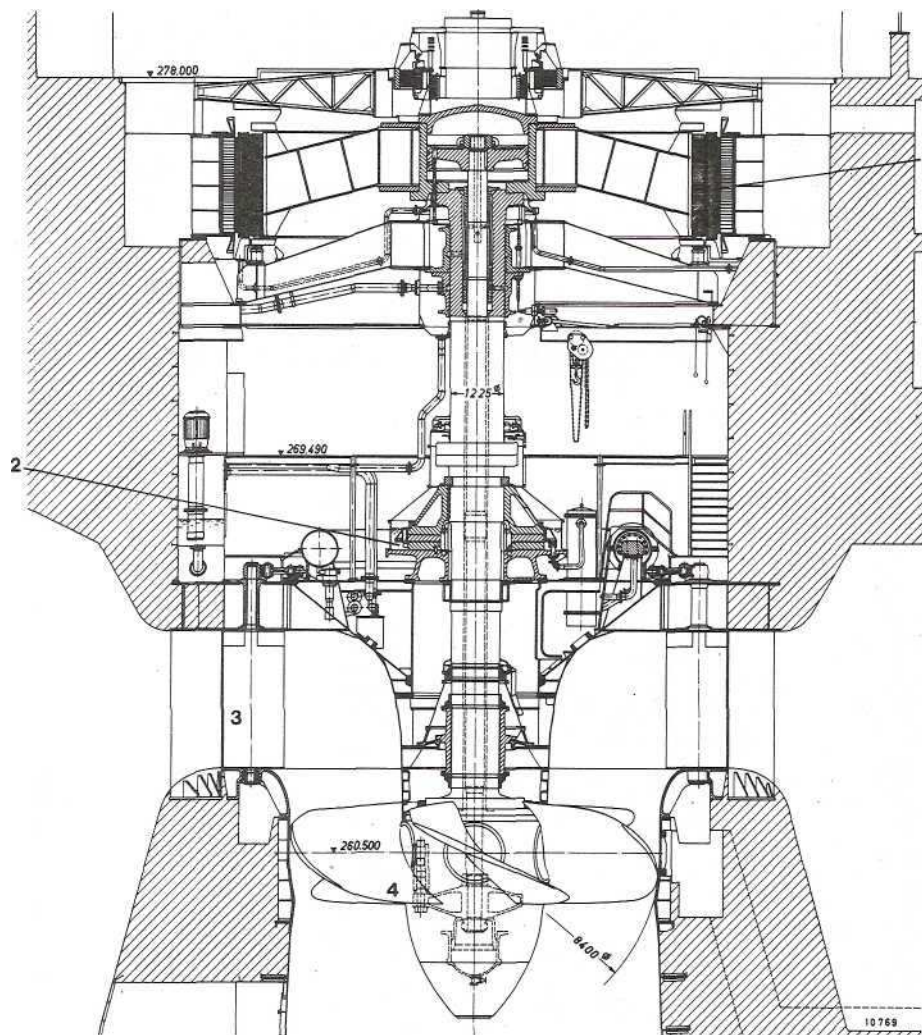
1.γεννήτρια, 2. στρόβιλος, 3. ακίνητα ρυθμιζόμενα περύγια.



Εικόνα 4.12. Τροχός Karlan που ανήκει στην εικ. 4.10.[7]
Διάμετρος 7,1 m

Σε στροβίλους υπερπίεσης χρησιμοποιεί κανείς συνήθως στην έξοδο του νερού ένα σωλήνα που οδηγεί μέχρι τη στάθμη φυγής. Στην άκρη αυτού του σωλήνα αναρρόφησης δημιουργείται, λόγω της ροής του νερού στην στάθμη φυγής, μια υποπίεση (φαινόμενο αντλίας διάχυσης). Έτσι, γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της υψομετρικής διαφοράς.

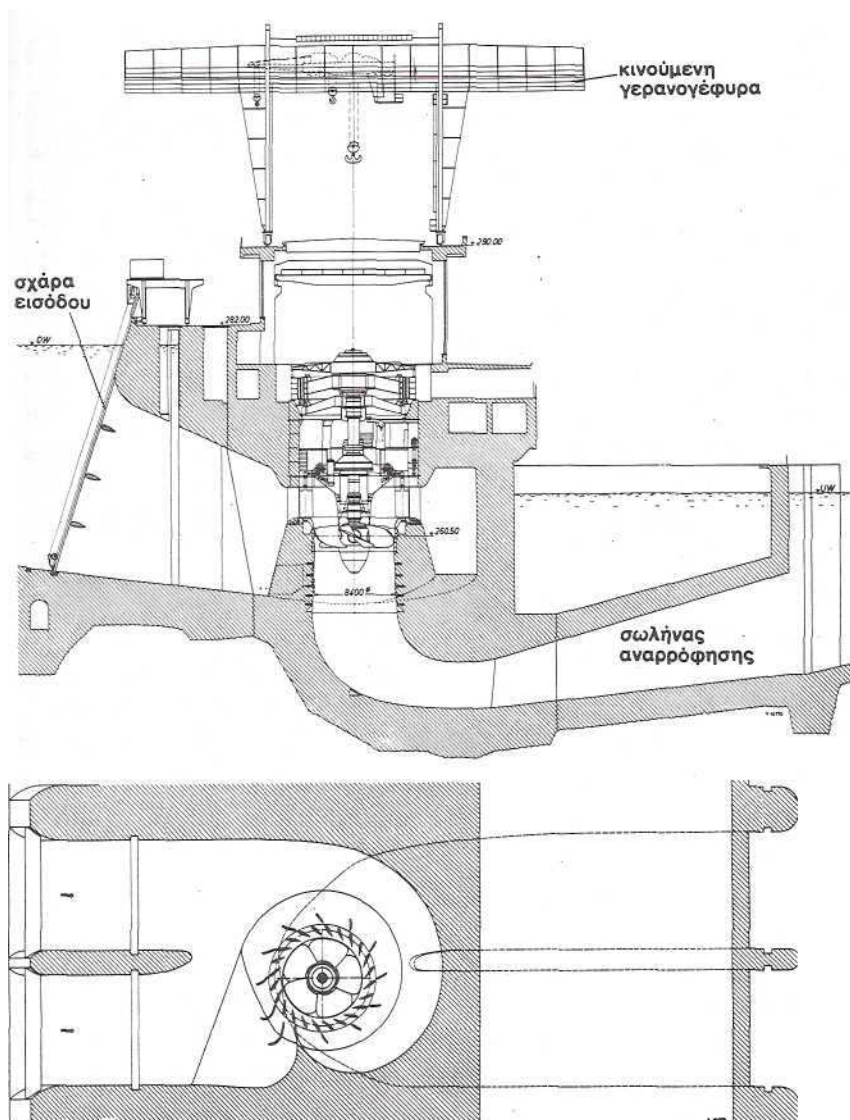
Στους στροβίλους Kaplan και Francis το νερό προσάγεται κάθετα στον άξονα του στροβίλου. Ο σωλήνας αναρρόφησης δεν είναι παράλληλος με τον άξονα του στροβίλου, όπως δείχνει και το σχήμα 4.17. Σε ορισμένους τύπους στροβίλων, οι οποίοι λέγονται σωληνωτοί στρόβιλοι (μοιάζουν με τους στροβίλους Kaplan), το νερό ρέει αξονικά. Ο στρόβιλος ευρίσκεται στον ευθύ σωλήνα αναρρόφησης. Έτσι επιτυγχάνεται μια καλύτερη απόδοση. Η λύση είναι όμως κατασκευαστικά δύσκολη. Η γεννήτρια πρέπει συνήθως να κινηθεί μέσω γραναζιών γιατί απαιτείται μικρός όγκος γεννήτριας, δηλαδή υψηλές στροφές, πράγμα που δεν συμβιβάζεται με τις χαμηλές στροφές του στροβίλου.



Σχήμα 4.16. Εγκατάσταση στροβίλου Kaplan [7].

$H=15$ m, $P=75$ MW, $n=68,2$ /min . Aschbach, Αυστρία.

1. γεννήτρια, 2. ωστικό έδρανο, 3. ρυθμιζόμενα ακίνητα πτερύγια, 4. στρόβιλος



Σχήμα 4.17. Τομή του σταθμού του σχήματος 4.16 [7].

Δείχνει την διαμόρφωση του φράγματος. Το νερό μετά το στρόβιλο οδηγείται στην στάθμη φυγής με σωλήνα αναρρόφησης. Η σκεπή του σταθμού είναι μετακινούμενη. Η γερανογέφυρα δεν περιέχεται στο κτίριο του σταθμού.

4.3.2. Συγκρότηση υδροηλεκτρικών σταθμών

4.3.2.1. ΥΗΣ φυσικής ροής

Σε ποτάμια με μεγάλη παροχή σ' όλες τις εποχές του έτους (π.χ. στον Ρήνο), συμφέρει η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας με σταθμούς φυσικής ροής. Σ' αυτούς δεν ρυθμίζεται σημαντικά η ποσότητα του νερού. Χρησιμοποιούνται κυρίως σαν εργοστάσια βάσης.

Ο ποταμός προς εκμετάλλευση φράζεται (σχ. 4.10) και το νερό διοχετεύεται, ελεγχόμενα, με αγωγούς μέσα σε στρόβιλους Kaplan (σχ. 4.11) ή Francis. Λόγω του φράγματος υπάρχει υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης προσαγωγής και στάθμης φυγής του νερού. Για να διευκολυνθεί η διέλευση των ψαριών και ενδεχόμενα της ναυσιπλοΐας, μπορεί να υπάρχουν ιχθυόσκαλες ή κανάλια. Δηλαδή δεν καταλαμβάνεται όλος ο ποταμός από τον υδροηλεκτρικό σταθμό.

Υπάρχει, κατά κανόνα, ένα κανάλι παράκαμψης για πλοία και ψάρια, όπως δείχνει και το σχήμα 4.10.

Τους σταθμούς φυσικής ροής τοποθετεί κανείς εκεί όπου υπάρχει μεγάλη κλίση στο έδαφος και το πλάτος του ποταμού είναι σχετικά μικρό με απότομες όχθες. Αν η διαμόρφωση του ποταμού δεν επιτρέπει την κατασκευή εργοστασίου μέσα στον ποταμό, τότε ανοίγεται ένα παράλληλο κανάλι και τοποθετείται εκεί ο ΥΗΣ. Σε ποτάμια, όπου το επιτρέπει η κλίση του εδάφους, μπορεί να κατασκευασθεί μια αλυσίδα από ΥΗΣ φυσικής ροής, π.χ. στο Ρήνο μεταξύ Bodensee και Basel έχουν κατασκευασθεί 13 εργοστάσια σε μια συνολική απόσταση 140 km.

Για να ελαττωθούν τα έξοδα κατασκευής και για να πετύχουμε μια μικρή οπτική ρύπανση του περιβάλλοντος ο ΥΗΣ πρέπει να κατασκευασθεί χαμηλός. Το ύψος όμως του εργοστασίου δίνεται κυρίως από τη γερανογέφυρα που χρειάζεται για την συντήρηση των στροβίλων και των γεννητριών. Η γεννήτρια με το στρόβιλο είναι στο φράγμα του ΥΗΣ και δεν απαιτούν επιπρόσθετο ύψος. Μπορεί όμως κανείς να χρησιμοποιήσει κινητό γερανό-Π (Portal Crane, Portalkran) και να καλύψει τον σταθμό, με αφαιρούμενες σκεπές. Στην συντήρηση αφαιρούνται οι σκεπές. Ο γερανός μπορεί να είναι τοποθετημένος κάπου μακριά, καμουφλαρισμένος, αν δεν χρειάζεται.

4.3.2.2. ΥΗΣ δεξαμενής

Η διαμόρφωση ενός ΥΗΣ δεξαμενής εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την φύση του εδάφους. Χρησιμοποιεί κανείς για δεξαμενές χαράδρες, όπου εκ φύσεως περνάει το νερό. Αν το σημείο όπου εκρέει το νερό δεν έχει μεγάλο πλάτος, τότε μπορεί κανείς εύκολα να φράξει την εκροή και να δημιουργήσει μια δεξαμενή μέσα στην οποία συσσωρεύεται νερό. Τυπικές χωρητικότητες δεξαμενών είναι της τάξης μεγέθους των 1-10 km³. Αγωγοί, π.χ. 8 m διαμέτρου, μεταφέρουν το νερό από το κάτω μέρος της δεξαμενής στον υδροηλεκτρικό σταθμό. Αξιοποιείται επίσης, όσο είναι δυνατόν, η μορφολογία του εδάφους για να υπάρξει όφελος σε υψομετρική διαφορά. Μπορεί, π.χ. ο σταθμός να τοποθετηθεί πολλά χιλιόμετρα μακριά από το φράγμα (σχ. 4.12).

Το σχήμα (4.12) δείχνει τομή της εξόδου ενός φράγματος, τους σωλήνες προσαγωγής νερού (καταθλιπτικούς σωλήνες) και τον ηλεκτροπαραγωγό σταθμό. Διακρίνονται δύο ειδών αποφρακτικά όργανα. Το ένα είναι στο φράγμα (σχ.4.12α), στο σημείο εισροής του νερού στους σωλήνες. Αυτό χρησιμεύει για να σταματήσουμε την εκροή νερού και να εκτελέσουμε διάφορες εργασίες στους καταθλιπτικούς σωλήνες. Το άλλο όργανο είναι για να διακόψουμε την εισροή του νερού στο στρόβιλο (σχ.4.12β) και χρειάζεται γιατί, εκτός των άλλων, ένας καταθλιπτικός σωλήνας ίσως τροφοδοτεί δύο ή περισσότερους στροβίλους. Η ρύθμιση ισχύος γίνεται με βελονοειδείς βαλβίδες στους στροβίλους Pelton ή με ρυθμιζόμενα πτερύγια στους στροβίλους Francis.

Σε απότομες αλλαγές ισχύος δημιουργούνται κρουστικά κύματα στις σωληνώσεις και μπορούν να τις καταστρέψουν. Γι' αυτό πρέπει να φροντίσει κανείς να τις αποσβέσει. Χρησιμοποιείται για αυτό μια δεξαμενή απόσβεσης ή δεξαμενή ηρέμισης.

Μετά τον σταθμό το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρδεύσεις. Μάλιστα μπορεί να υπάρχει και στην έξοδο του εργοστασίου μια μικρή δεξαμενή, έτσι ώστε να μπορεί κανείς να ρυθμίσει τις ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται για άρδευση.

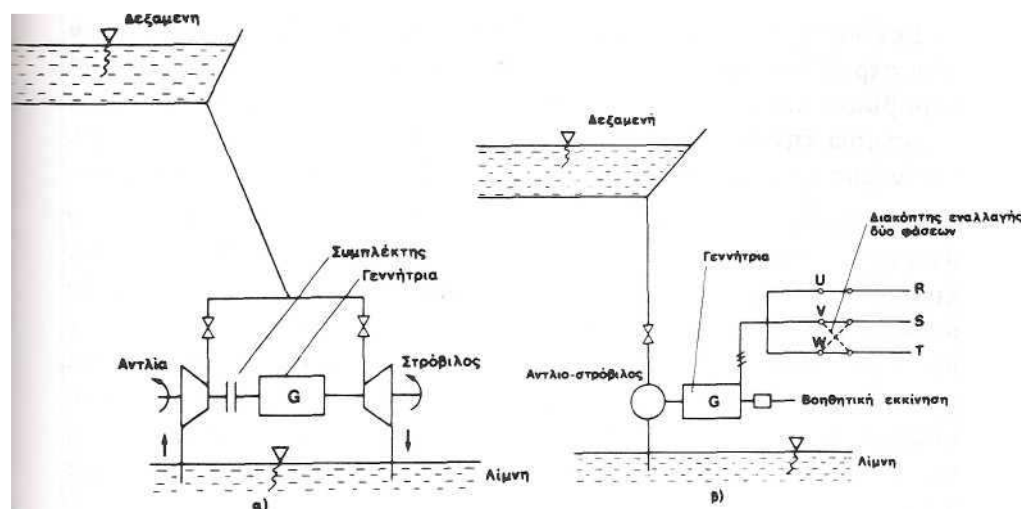
Στην περίπτωση όπου η εισροή στην δεξαμενή είναι ένα ποτάμι και τα νερά του χρησιμοποιούνται και για άλλους σκοπούς, όπως π.χ. για άρδευση, τότε πρέπει να προβλεφθεί και ένα τούνελ παράκαμψης. Όταν χρειασθεί να αποκοπεί το νερό στον ΑΗΣ, τότε γίνεται χρήση του νερού μέσω του τούνελ παράκαμψης.

Επίσης χρειάζεται πρόβλεψη για μια ελεγχόμενη υπερχείλιση της δεξαμενής στην περίπτωση, όπου οι εισροές είναι μεγαλύτερες από τις εκροές της δεξαμενής. Σταθμοί δεξαμενής μπορεί πολλές φορές να παράγουν κατά το μεγαλύτερο μέρος τους δευτερογενή ενέργεια (ενέργεια μη προσαρμοσμένη στον καταναλωτή). Αυτό όταν οι εισροές είναι μεγάλες και μια υπερχείλιση του φράγματος δεν ενδείκνυται.

4.3.2.3. Υδροαντλητικά εργοστάσια

Μεγάλοι ΑΗΣ εργάζονται με μικρό κόστος ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας kWh και εκτός αυτού είναι, για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους, επιθυμητή μια σταθερή συνεχής λειτουργία. Όταν η ζήτηση είναι μικρή, π.χ. την νύχτα, μπορεί κανείς να αποθηκεύσει την περίσσια, φθηνή ενέργεια που παράγουν αυτά τα εργοστάσια. Σε αιχμές ζήτησης, αντί να εξυπηρετήσει κανείς το δίκτυο με εργοστάσια παραγωγής, π.χ. αεροστρόβιλους, που ενδεχόμενα εργάζονται όχι τόσο οικονομικά όσο οι μεγάλοι ΑΗΣ, μπορεί να χρησιμοποιήσει την φθηνή αποθηκευμένη ενέργεια.

Η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας είναι προβληματική. Γίνεται σε λογικά οικονομικά πλαίσια επί του παρόντος μόνο με υδράντληση στους υδροαντλητικούς σταθμούς. Δηλαδή χρησιμοποιείται ενέργεια του δικτύου για την άντληση του νερού σε μια δεξαμενή υψηλά. Όταν θέλουμε να πάρουμε αυτή την ενέργεια πίσω στο δίκτυο, αφήνουμε το νερό της δεξαμενής να τρέξει και να κινήσει ένα στρόβιλο. Αν οι βαθμοί απόδοσης των κύκλων αντλίας και στρόβιλου είναι η_p και η_t αντίστοιχα, τότε ο βαθμός απόδοσης του κύκλου άντλησης-παραγωγής είναι $\eta_{pt}=\eta_p \cdot \eta_t$ και μπορεί κανείς να φθάσει το $\eta_{pt}=0,75$.



Σχήμα 4.18. Σχηματική παράσταση υδροαντλητικού συγκροτήματος [7].

α) Σταθμός με δύο μηχανές, την αντλία και τον στρόβιλο, β) Σταθμός με αντλιοστρόβιλο.

Οι υδροαντλητικοί σταθμοί αποτελούνται από δυο δεξαμενές, την δεξαμενή πάνω και την δεξαμενή κάτω στάθμης, μια αντλία, ένα στρόβιλο και μια γεννήτρια, όπως δείχνει το σχήμα 4.18. Ο στρόβιλος και η αντλία πολλές φορές είναι ενσωματωμένοι σε μια μοναδική υδρομηχανή, τον αντλιοστρόβιλο. Ο αντλιοστρόβιλος, ανάλογα με την φορά περιστροφής του, αντλεί νερό ή κινείται από το νερό, δηλαδή παίρνει ή δίνει ισχύ στο δίκτυο. Εδώ πρέπει να αναφερθούν και οι εξής ιδιομορφίες του συστήματος:

- Στην περίοδο άντλησης η παροχή, δηλαδή η απορροφούμενη ισχύς, δεν ρυθμίζεται εύκολα γιατί η αντλία στρέφεται με σταθερές στροφές που είναι δοσμένες από τον σύγχρονο κινητήρα, δηλαδή την συχνότητα του δικτύου. Η πίεση του νερού δίνεται από την διαφορά στάθμης των δεξαμενών.
- Στην περίπτωση αντλιοστρόβιλου πρέπει να γίνει εναλλαγή δύο φάσεων της γεννήτριας, όταν αλλάζει η φορά περιστροφής, π.χ. όταν πηγαίνει κανείς από την άντληση στην παραγωγή. Δηλαδή χρειαζόμαστε ένα ειδικό διακόπτη που να αντιμετωπίζει δύο φάσεις του δικτύου, πράγμα που απαιτείται για την αλλαγή φοράς περιστροφής.
- Η εκκίνηση του ζεύγους για άντληση είναι δυνατόν να γίνει μέσω του υδροστρόβιλου, αν έχουμε χωριστά στρόβιλο και αντλία. Η φορά στρόβιλου και αντλίας εκλέγεται να είναι η ίδια. Αφού το ζεύγος αποκτήσει την ταχύτητα συγχρονισμού παραλληλίζεται με το δίκτυο, κλείνουμε το νερό στο στρόβιλο και ανοίγουμε το νερό στην αντλία.
- Αν έχουμε αντλιοστρόβιλο, δεν είναι δυνατή η εκκίνηση για άντληση όπως προηγούμενα, όπου χρησιμοποιήθηκε νερό σαν κινητήρια δύναμη. Αν ξεκινούσε με νερό, η φορά περιστροφής που θα ανακτούσε η υδρομηχανή σαν στρόβιλος, θα ήταν αντίθετη απ' αυτήν που θα έπρεπε να είχε η υδρομηχανή σαν αντλία. Έτσι χρησιμοποιούμε για την εκκίνηση πρόσθετα μέσα, π.χ. ένα πρόσθετο ασύγχρονο κινητήρα, ένα μικρό πρόσθετο υδροστρόβιλο ή η γεννήτρια ξεκινά σαν ασύγχρονος κινητήρας.

Η εκκίνηση γίνεται επίσης τροφοδοτώντας τον κινητήρα με συχνότητα που αυξάνεται ανάλογα με τις στροφές. Μεταβλητή συχνότητα επάγεται με στατικούς ή στρεφόμενους μετατροπείς. Αν υπάρχουν επιπλέον υδραντλητικά ζεύγη, τότε μπορεί να τα χρησιμοποιήσουμε για εκκίνηση όπου το ένα ξεκινάει για να ξεκινήσουμε το άλλο. Δηλαδή ξεκινά το ένα ζεύγος με στρόβιλο και χρησιμοποιεί κανείς την τάση του, που μεταβάλλεται με τις στροφές, για να τροφοδοτήσει το άλλο ζεύγος. Έτσι τα δύο ζεύγη κινούνται σύγχρονα από την ηρεμία μέχρι τις σύγχρονες στροφές.

Κατά την εκκίνηση με κατευθείαν σύνδεση με το δίκτυο ο σύγχρονος κινητήρας ξεκινάει σαν ασύγχρονος, δηλαδή στο κλωβό απόσβεσης κυκλοφορούν ρεύματα πολύ μεγαλύτερα του ονομαστικού και πρέπει αυτός να υπολογισθεί κατάλληλα για να αντέξει στην υπερφόρτιση. Τέλος, η κατευθείαν εκκίνηση από το δίκτυο μπορεί να γίνει μέσω αυτεπαγωγών που μειώνουν το ρεύμα αλλά και την ροπή.

4.3.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό από τα παραπάνω οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δεν επηρεάζουν την ατμόσφαιρα με εκπομπές ρύπων. Οι μόνες επιπτώσεις στο περιβάλλον αφορούν το υδάτινο περιβάλλον, το θόρυβο και την οπτική όχληση.

Το υδάτινο περιβάλλον επηρεάζεται από την εγκατάσταση ενός ΥΗΣ σε μια περιοχή με πολλούς τρόπους. Τα φράγματα που κατασκευάζονται δημιουργούν λίμνες εκεί που υπήρχαν πριν ροές ποταμού. Αυτό αλλάζει τη βιοποικιλότητα ολόκληρης της περιοχής και επομένως την τροφική αλυσίδα της επηρεάζοντας τόσο τη χλωρίδα όσο και την πανίδα.

Η εγκατάσταση ενός μεγάλου ΥΗΣ όπως είναι λογικό αλλοιώνει τον περιβάλλοντα χώρο σε μεγάλο βαθμό. Για να αποφευχθούν κάποια από τα προβλήματα που επιφέρει ένας ΥΗΣ οι μελέτες εγκατάστασης πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικές σε ότι αφορά τα ειδικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του κάθε τόπου. Έτσι ,

πολλές φορές, η νέα μορφή που θα αποκτήσει ο τόπος μπορεί να είναι εξίσου όμορφη (ή ακόμη και καλύτερη από πριν) με την ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων στην περιοχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην Ελλάδα αποτελεί η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα στην Κεντρική Ελλάδα που έχει γίνει θέρετρο εναλλακτικού τουρισμού και πόλος έλξης για χιλιάδες επισκέπτες κάθε χρόνο στην περιοχή.

Όσον αφορά το θόρυβο αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες χαμηλού θορύβου σε στροβίλους και γεννήτριες ώστε να περιοριστεί ο λειτουργικός θόρυβος ενός ΥΗΣ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι θερμικοί σταθμοί με καύσιμο τον εγχώριο λιγνίτη, όπως έχει προαναφερθεί, καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Οι σταθμοί αυτοί βοηθούν σημαντικά στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση της χώρας, στην παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας και προσφέρουν πολλές θέσεις απασχόλησης. Το σημαντικό, όμως, μειονέκτημα τους είναι η εκπομπή ρυπογόνων ουσιών που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα όπως αιωρούμενα σωματίδια (εκ των οποίων τα PM-10 είναι τα πιο επιβλαβή για την υγεία), διοξείδιο του Θείου (SO₂), οξείδια του Αζώτου (NO_x), μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO, CO₂), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HCs), κ.ά.

5.1. ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι κυριότεροι εκπεμπόμενοι ρύποι από θερμικούς σταθμούς.

5.1.1. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το CO₂, αν και όχι άμεσα τοξικό, αποτελεί ένα, τεχνολογικό εκτεταμένης κλίμακας, απόβλητο με έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και ως εκ τούτου κατατάσσεται στους αέριους ρύπους. Τα αποτελέσματα της εκπομπής CO₂ είναι μακροπρόθεσμα.

Η εκπομπή CO₂ προέρχεται είτε από φυσικές πηγές (διεργασίες βιολογικής αποσύνθεσης που έχουν ως αρχή την παραγωγή μεθανίου) είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (κυρίως καύσεις άνθρακα και πετρελαίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Έτσι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σταθερή αύξηση του CO₂ της ατμόσφαιρας που παράγεται από τις ποικίλες διεργασίες καύσης. Σύμφωνα με μερικούς επιστήμονες, το CO₂ της ατμόσφαιρας μπορεί και να διπλασιαστεί στο άμεσο μέλλον. Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο αυτό συνεπάγεται μια σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης που θα προκαλέσει ευρείας κλίμακας κλιματικές αλλαγές με πιθανό λιώσιμο των πάγων, πλημμυρίζοντας παράκτιες περιοχές και γενικότερα μεταβάλλοντας την ισορροπία στον πλανήτη.

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί και ένα άλλο φαινόμενο που είναι επίσης συνέπεια της καύσης των στερεών καυσίμων και το οποίο δημιουργεί αντίθετα αποτελέσματα από αυτά του θερμοκηπίου. Η ατμοσφαιρική καπνομίχλη και η σωματιδιακή ύλη, προϊόντα καύσης και αυτά, μπορούν να προκαλέσουν ελαφρά ψύξη της ατμόσφαιρας λόγω παρεμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη. Στις μέρες μας υπάρχει συστηματική παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων του CO₂ σε παγκόσμια κλίμακα, και οι έως σήμερα, κυρίως ακαδημαϊκής φύσης, συζητήσεις για τον περιορισμό των εκπομπών του, αρχίζουν να παίρνουν μέρος σε τραπέζια διαπραγματεύσεων των χωρών-μελών του ΟΗΕ με σκοπό τη λήψη σοβαρών μέτρων.

Από την άλλη πλευρά είναι γνωστή η σημασία του CO₂ για τη ζωή σε αυτό τον πλανήτη. Τα φυτά χρειάζονται το CO₂ για τη φωτοσύνθεση. Με άλλα λόγια ολόκληρη η τροφική αλυσίδα που από την οποία εξαρτάται ο άνθρωπος, βασίζεται σε αυτό. Επίσης, αν και είναι προϊόν απόρριψης κατά την αναπνοή των ζώων, και συνεπώς τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις, ένα ορισμένο ποσοστό του διεγείρει την αναπνοή. Το επίπεδο ασφαλείας για παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπου σε CO₂, είναι 15 φορές μεγαλύτερο από τα

σημερινά επίπεδα του στον ατμοσφαιρικό αέρα. Εντούτοις, παρατηρείται μια συνεχώς αυξητική τάση του ατμοσφαιρικού CO₂ τα τελευταία 70 χρόνια.

Το φυτικό βασίλειο δείχνει να ωφελείται από τις αυξήσεις του CO₂ αλλά δεν θα πρέπει να παρασύρεται κανείς καθώς μια περαιτέρω αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1-2 βαθμούς Kelvin εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενδέχεται να έχει σημαντικότερες συνέπειες στο παγκόσμιο κλίμα [9].

5.1.2. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό, και αναφλέξιμο. Είναι ένας από τους μαζικότερα παραγόμενους ρύπους.

Γενικά στις αστικές περιοχές η κύρια ποσότητα CO προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Αυτή η ατελής καύση συμβαίνει όταν υπάρχει ανεπαρκής ποσότητα οξυγόνου ή χρόνου για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων και ανθράκων σε CO₂ (πλήρης καύση).

Η τοξική δράση του CO σχετίζεται με το αναπνευστικό σύστημα. Ανταγωνίζεται έντονα την δέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη του αίματος, τον μεταφορέα δηλαδή του οξυγόνου στους ιστούς ενός οργανισμού, παράγοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη, ένα μόριο που δεν έχει πλέον την ικανότητα δέσμευσης και μεταφοράς οξυγόνου.

Όταν η αιμοσφαιρίνη έλθει σε επαφή με οξυγόνο σχηματίζει οξυαιμοσφαιρίνη, η οποία μεταφέρει το O₂ στους ιστούς για τις αναγκαίες καύσεις του οργανισμού. Η χημική συγγένεια του CO με την ενεργή θέση της αιμοσφαιρίνης για τη δέσμευση του O₂ είναι 210 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του O₂, με αποτέλεσμα να αρκούν αρκετά μικρές μερικές πιέσεις CO για να δεσμεύσουν ισχυρά σημαντική ποσότητα αιμοσφαιρίνης σχηματίζοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη (HbCO).

Έτσι παρεμποδίζεται η μεταφορά οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου καθώς και σοβαρές επιπτώσεις στα διάφορα λειτουργικά όργανα και κυρίως στον εγκέφαλο.

Αποτελέσματα ασθενειών από ρύπανση CO είναι υπερβολικά δύσκολο να καταγραφούν και έτσι υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία για να προσδιορισθούν ασφαλή όρια. Τα σημεία στα οποία είναι αναγκαία παραπέρα έρευνα είναι τα εξής:

- η φυσιολογία του CO στο ανθρώπινο σώμα
- οι επιπτώσεις στο σύστημα των ενζύμων και στην οξυγόνωση των ιστών
- οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη συμπεριφορά και κίνηση
- η σχέση μεταξύ έκθεσης σε CO και καρδιοαγγειακών παθήσεων [9].

5.1.3. Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)

Η μεγάλη μάζα των οξειδίων του αζώτου (NO_x) προέρχεται από καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Η παραγωγή του NO κατά τις καύσεις ενοείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, γι' αυτό και μια από τις σπουδαιότερες πηγές του είναι οι θερμικοί σταθμοί. Από την άλλη, μια σύγκριση της ανά μονάδα βάρους παραγόμενης ποσότητας NO από διάφορα συνηθισμένα καύσιμα, τα κατατάσσει με την ακόλουθη φθίνουσα σειρά δυναμικότητας παραγωγής NO: άνθρακας > πετρέλαιο > φυσικό αέριο.

Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκλύουν σαφώς λιγότερες ποσότητες οξειδίων του αζώτου από τις διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, οι εκπομπές αυτές συγκεντρώνονται στο περιορισμένο περιβάλλον των αστικών και βιομηχανικών περιοχών, με αποτέλεσμα να γίνονται πολύ επικίνδυνες. Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα είναι συνδυασμένη με μια μεγάλη ποικιλία αναπνευστικών προβλημάτων και είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των φωτοχημικών οξειδωτικών.

Υπάρχουν σοβαρές αρνητικές επιδράσεις των NO_x στην υγεία με σημαντικότερη τη σοβαρή συμμετοχή τους στην εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας σε νήπια και παιδιά

προσχολικής ηλικίας. Τέτοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί όταν τα επίπεδα του NO_2 κυμαίνονται σε 24ωρη βάση, από 118 έως 156 mg/m^3 (0,063 έως 0,083 ppm) και για μια περίοδο έκθεσης άνω των 6 μηνών.

Έχουν επίσης αναφερθεί αρνητικές επιδράσεις στα φυτά, π.χ. πτώση των φύλλων, μείωση της παραγωγής πορτοκαλιών, κτλ όταν τα επίπεδα NO_2 ήταν κοντά στα 470 mg/m^3 (0,25 ppm) για μια περίοδο διάρκειας άνω των 8 μηνών. Ακόμα σχετίζονται και με εκτεταμένη διάβρωση υλικών και κατασκευών.

Το NO_2 εμπλέκεται και σε αντιδράσεις σχηματισμού HNO_3 με τη συνεισφορά του τελευταίου στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Έτσι ο μικρός σχετικά χρόνος ζωής του NO_2 (<1 μέρα), οδηγείται έμμεσα με τον σχηματισμό του HNO_3 σε χρόνους ζωής της τάξεως της μιας εβδομάδας, με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας επιστροφής στην επιφάνεια της Γης ως όξινη βροχή ή εναπόθεση. Αλλά οι διαδικασίες δεν σταματάνε εδώ. Εφόσον η διαλυτότητα των NO και NO_2 σε σταγονίδια βροχής είναι σχετικά χαμηλή, αυτά μπορούν να μεταφερθούν εξαιτίας καθέτων αναταραχών της τροπόσφαιρας σε υψηλότερα στρώματα αυτής. Όμως και κει η αντίδραση σχηματισμού HNO_3 εξακολουθεί να συμβαίνει, όπου πλέον το σχηματιζόμενο HNO_3 δεν υπόκειται σε διαδικασίες ξηρής ή υγρής εναπόθεσης. Έχοντας μάλιστα αυτό ικανό χρόνο ζωής, εξακολουθεί να διαχέεται προς τα πάνω φθάνοντας στα όρια της στρατόσφαιρας, όπου έχει μεγάλη πιθανότητα φωτοδιάσπασης για επανασχηματισμό NO_x . Σε πιο περιορισμένη έκταση μπορεί να αντιδράσει με OH και να σχηματίσει πάλι NO_x . Η διαδικασία αυτή είναι ένας άλλος πιθανός μηχανισμός μεταφοράς NO_x στην στρατόσφαιρα με αρνητικές συνέπειες στο στρατοσφαιρικό όζον [9].

5.1.4. Το διοξείδιο του θείου (SO_2)

Η πιο επικίνδυνη και καταστροφική ομάδα ατμοσφαιρικών ρύπων σχετίζεται με το άτομο του θείου. Το διοξείδιο του θείου είναι η πλέον συνηθισμένη πρωτογενής εκπομπή από αυτή την ομάδα. Πρωτεύοντα ρόλο στην εκπομπή SO_2 παίζει η καύση άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο, συνήθως σε ποσότητες 0-6% κ.β. υπό μορφή οργανικών μορίων που όταν καίγονται παράγουν SO_2 .

Στην ατμόσφαιρα το SO_2 αντιδρά για να σχηματίσει SO_3 το οποίο εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη (αεροζόλ) θειικού οξέος. Είναι προφανής η διαβρωτική ικανότητα του θειικού οξέος στα υλικά και στις ανθρώπινες κατασκευές. Έχει επίσης τοξικές ιδιότητες που εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής της ομίχλης. Εμφανίζει επίσης σημαντική δραστηριότητα με άλλη σωματιδιακού τύπου ύλη που πλανάται στην ατμόσφαιρα.

Το θείο με τη μορφή των διαφόρων ενώσεων του εκπέμπεται και από φυσικές πηγές, όπως λόγω χάρη ηφαίστεια, θερμές πηγές κτλ. κάποιες άλλες πηγές το επαναφέρουν στη Γη για να κλείσει ο κύκλος. Σε αυτό τον κύκλο, σε υπολογισμούς που έγιναν το 1975, η συνεισφορά των ανθρωπογενών πηγών έναντι των φυσικών ήταν περίπου 0.5:1. Σήμερα αναμένεται μεγάλη διαμόρφωση αυτής της σχέσης.

Σε 24ωρη βάση, η μέση τιμή συγκέντρωσης του SO_2 στις περισσότερες μεγάλες πόλεις του κόσμου κυμαίνεται στα επίπεδα δεκάτων ppm. Αν και αυτές οι τιμές συγκεντρώσεων φαντάζουν χαμηλές, η ευαισθησία του ανθρώπινου οργανισμού στο SO_2 είναι πολύ μεγάλη. Το όριο αντίληψης ύπαρξης SO_2 είναι περίπου 0,3 ppm, και γίνεται μια πολύ δυσάρεστη εμπειρία στα επίπεδα του 1 ppm. Σε αυτή τη, χαμηλή έστω, συγκέντρωση σημειώνονται μεταβολές στην συχνότητα της αναπνοής και των σφυγμών. Ένα επίπεδο 5 ppm SO_2 προκαλεί αναπνευστικές διαταραχές ακόμη και σπασμωδικές αντιδράσεις.

Η ευαισθησία των φυτών στο SO_2 ποικίλει ευρέως. Ορισμένα δέντρα και θάμνοι κιτρινίζουν κάτω από ολιγόωρη έκθεση σε 0,3 έως 0,5 ppm SO_2 . χαμηλότερες συγκεντρώσεις, αλλά για μεγαλύτερες περιόδους μπορούν να προκαλέσουν πτώσεις φύλλων και σοβαρές καταστροφές σε ορισμένους καρπούς. Το τριφύλλι

αποχρωματίζεται σε έκθεση 1.25 ppm για μια ώρα. Είναι επίσης δυνατόν να συμβεί καθυστέρηση στη διαδικασία ανάπτυξης ενός φυτού ακόμα και κάτω από πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις SO₂.

Στην ατμόσφαιρα, όπως προαναφέρθηκε, το SO₂ μπορεί να αντιδράσει φωτοχημικά και καταλυτικά με οξυγόνο για να σχηματίσει SO₃, το οποίο είναι ένα έντονα υγροσκοπικό μόριο που θα απορροφήσει αμέσως την υγρασία για να σχηματίσει θειικό οξύ υπό τη μορφή μικροσκοπικών σταγόνων (αεροζόλ). Οι ρυθμοί αυτών των αντιδράσεων εξαρτώνται από την ποσότητα της υπάρχουσας υγρασίας, το ηλιακό φως, την παρουσία άλλων χημικών ενώσεων όπως υδρογονάνθρακες και NO₂ και από την παρουσία σωματιδιακής ύλης.

Η ικανότητα του SO₂ να προκαλεί ερεθισμό των ματιών αυξάνεται κατά 3-4 φορές όταν οι συνθήκες ευνοούν το σχηματισμό θειικού οξέος. Εφόσον η ποικιλία των ενώσεων που περιέχουν θείο είναι μεγάλη και αλληλοεξαρτώμενη, η απλή μέτρηση των επιπέδων του θειικού οξέος κρίνεται ανεπαρκής για να προβλέψει τις τοξικολογικές συνέπειες ενός δεδομένου περιβάλλοντος.

Η σωματιδιακή ύλη της τάξης των 5 μm παραμένει διασκορπισμένη στον αέρα. Η σωματιδιακή ύλη αυτών των μεγεθών παγιδεύεται εύκολα στους πνεύμονες. Αν αυτή είναι ικανή, από άποψη χημικής συμπεριφοράς, να καταλύει την οξείδωση του SO₂, τότε πιθανότατα θα είναι φορέας σταγόνων θειικού οξέος. Σωματίδια σιδήρου, μαγγανίου ή άλατα βαναδίου είναι παραδείγματα ενεργών καταλυτών που μπορούν να συμβάλλουν σε τέτοιου είδους περιστατικά. Πολλά από τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που έχουν καταγραφεί σε μεγάλες πόλεις ανά τον κόσμο ήταν αποτέλεσμα υψηλής ρύπανσης από SO₂ όπου ταυτόχρονα επικρατούσαν ευνοϊκές συνθήκες για τη μετατροπή του σε θειικό οξύ. Τα επεισόδια αυτά έχουν το χαρακτηριστικό του μεγάλου αριθμού θανάτων και αυξημένων επισκέψεων στα νοσοκομεία για αναπνευστικά προβλήματα.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες υφίστανται επίσης τη συνδυασμένη καταστροφή από το SO₂ και το θειικό οξύ. Ατσάλινες κατασκευές, καλώδια, υφάσματα, ασβεστόλιθος, οικοδομικές πέτρες, τσιμέντο και μιογία, καταστρέφονται βαθμιαία από αυτούς τους ρύπους. Η καταστροφή είναι ανεπανόρθωτη στα αναντικατάστατα αρχαία έργα τέχνης, όπως αγάλματα, μνημεία, ναούς, τα οποία έχουν επιβιώσει για εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια. Ο μέσος όρος ζωής του θείου (υπό μορφή διαφόρων ενώσεων) στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από 3-7 μέρες. Καθιζάνει τελικά στη Γη υπό μορφή θειικού οξέος και θειικών αλάτων [9].

5.1.5. Σωματιδιακοί ρύποι (PM-10)

Τα σωματίδια, σε μελέτες σχετικές με την ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι ένας πολύ ευρύς όρος που καλύπτει όλες τις ουσίες στην ατμόσφαιρα που δεν είναι αέρια. Τα σωματίδια είναι συνδυασμοί πολλών μορίων, μερικές φορές παρόμοιων και άλλες διαφορετικών μεταξύ τους. Περιλαμβάνουν σκόνη, σωματίδια καπνού, ιόντα, συμπλέγματα μορίων κτλ. Μερικά από αυτά τα σωματίδια λειτουργούν σαν πυρήνες στους οποίους συμπυκνώνονται ατμοί. Μερικά σωματίδια αντιδρούν χημικά με αέρια της ατμόσφαιρας ή ατμούς και σχηματίζουν διάφορες συνθέσεις. Όταν δύο σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους στον αέρα τείνουν να συγκολληθούν εξαιτίας ελκτικών δυνάμεων δημιουργώντας έτσι σταδιακά όλο και μεγαλύτερα συσσωματώματα. Όσο μεγαλύτερο γίνεται το σωματίδιο, τόσο μεγαλώνει το βάρος του και επομένως οι πιθανότητες του για βαρυτική εναπόθεση στο έδαφος αυξάνεται. Η διαδικασία κατά την οποία ένα σωματίδιο της ατμόσφαιρας επικάθεται στη Γη λέγεται εναπόθεση.

Οι οπτικές και τοξικολογικές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται έντονα από το μέγεθος τους. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα σωματίδια με αεροδυναμική 0,1-1 μm (PM-10). Τα σωματίδια αυτά σχηματίζονται κυρίως από προϊόντα καύσης, ατμοσφαιρική σκόνη, στάχτες και συμπύκνωση υδρατμών. Είναι πολύ βαριά ώστε να

επηρεαστούν από την κίνηση Brown (η οποία οφείλεται στις συγκρούσεις τους με τα μόρια αερίων), αλλά εναποτίθενται τόσο αργά ώστε να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για ολόκληρους μήνες. Αυτά τα σωματίδια είναι η αιτία της ομίχλης και της μείωσης της ορατότητας. Συμμετέχουν επίσης σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, συγκρούσεις και συσσωματώσεις.

Η κυριότερη ανησυχία για τη σωματιδιακή ύλη που περιπλανάται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από το γεγονός ότι σωματίδια κάποιου μεγέθους εισπνέονται και κατακρατούνται από το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η τοξικολογία των σωματιδίων απαιτεί τη γνώση τόσο του μεγέθους των σωματιδίων όσο και της χημικής τους σύνθεσης. Σωματίδια έως περίπου 2,5 μm κατακρατούνται από τη μύτη, ενώ αυτά κάτω των 2,5 μm συνήθως εναποτίθενται στην τραχεία των πνευμόνων. Μέταλλα που περιέχονται στον άνθρακα που χρησιμοποιούν οι θερμικοί σταθμοί, κυρίως μόλυβδος (Pb) και νικέλιο (Ni), υπό τη μορφή σκόνης ή σύνθετων μορίων έχουν τη χειρότερη φήμη από άποψη τοξικότητας. Σήμερα γίνονται έρευνες για τη σχέση αυτών των εκπομπών με την εμφάνιση μορφών καρκίνου στον πληθυσμό των περιοχών κοντά στις οποίες είναι εγκατεστημένοι οι σταθμοί.

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με τη σωματιδιακή ύλη είναι η σοβαρή απορρόφηση και διασπορά της ηλιακής ακτινοβολίας που υφίσταται από αυτήν. Το θέμα έχει άμεση σχέση με την διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και επομένως είναι μείζονος σημασίας. Μια τέτοια διασπορά και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τείνει να ελαττώσει τη θερμοκρασία του πλανήτη σε αντίθεση με το φαινόμενο του θερμοκηπίου [9].

5.1.6. Οι υδρογονάνθρακες (HCs)

Η τάξη των ατμοσφαιρικών ρύπων, γνωστή ως υδρογονάνθρακες (HCs) περιλαμβάνει όλες τις ενώσεις που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα, εκτός από τα οξείδια του άνθρακα, τα καρβίδια και τα ανθρακικά άλατα.

Οι υδρογονάνθρακες που εκπέμπονται, σε μικρές σχετικά ποσότητες, συναθροίζονται ενδεχομένως με τις εκπομπές υδρογονανθράκων των οχημάτων. Κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και αντιδρώντας με τα οξείδια του αζώτου δημιουργούνται τα φωτοοξειδωτικά συστατικά του φωτοχημικού νέφους, πράγμα το οποίο μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

5.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

5.2.1. Βασικές διεργασίες και τεχνικές για την απομάκρυνση ρύπων

Ο έλεγχος της ρύπανσης που προέρχεται από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει. Κάθε σταθμός, ανάλογα με το έτος κατασκευής του και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί, έχει τις δικές του εκπομπές τόσο σε σύσταση όσο και σε ποσότητα. Έτσι τα συστήματα ελέγχου θα πρέπει να σχεδιαστούν ως εξ επί τούτου.

Οι κύριες διεργασίες (τεχνικές) διαχωρισμού και απομάκρυνσης αέριων ρύπων που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι: α) η απορρόφηση με υγρά, β) η προσρόφηση με στερεούς προσροφητές, γ) η συμπύκνωση και δ) η χημική μετατροπή με καυστήρες ή καταλυτικά φίλτρα (μετατροπείς).

Παράλληλα οι Σ.Π.Η.Ε. με λιγνίτη σαν καύσιμο παράγουν εκπομπές σε υψηλές θερμοκρασίες και δημιουργούν ρύπανση κυρίως από ιπτάμενη τέφρα. Επίσης οι εκπομπές τους χαρακτηρίζονται από μεγάλους ρυθμούς και απαιτείται να συμβαδίζουν με τα αυστηρά όρια που έχουν θεσπιστεί.

Ο έλεγχος της ρύπανσης του αέρα εξαρτάται κυρίως από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και τη διεργασία της καύσης. Εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες σωματιδιακών ρύπων που πρέπει να ελεγχθούν με συσκευές όπως πολλαπλοί κυκλώνες, φίλτρα, εκπλυτές,

ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs). Η αντιμετώπιση της ρύπανσης σωματιδιακού τύπου θα αναλυθεί ξεχωριστά παρακάτω.

Το SO₂ είναι ένας βασικός ρύπος για τους θερμικούς σταθμούς. Η μείωση του SO₂ στα επιθυμητά επίπεδα εκπομπής μπορεί να πραγματοποιηθεί καταρχήν με τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η χρήση κάρβουνου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο μπορεί να είναι φθηνότερη από τη χρήση ενός συστήματος ελέγχου SO₂ στην διεργασία.

Αν είναι απαραίτητη μια συσκευή ελέγχου για το SO₂, μπορεί να ακολουθηθεί κάποια από τις μεθόδους που συγκεντρώνονται στον πίνακα 5.1. Πρέπει πρώτα να αποφασισθεί αν το προς χρήση σύστημα θα είναι υγρό ή ξηρό. Πολλά εμπορικά συστήματα χρησιμοποιούν οξείδιο του ασβεστίου, οξείδιο του μαγνησίου ή διαλύματα πηλού ή γύψου σε υδροξείδιο του νατρίου για την απομάκρυνση του SO₂.

Πίνακας 5.1. Πιθανές επιλογές για τον έλεγχο του διοξειδίου του θείου [9].

Μέθοδος	Παρατηρήσεις
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (ξηρό)	Ψημένος (ασβεστοποιημένος) ασβεστόλιθος αντιδρά με SO _x . Απομάκρυνση με ξηρό σύστημα ελέγχου σωματιδίων
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (υγρό)	Ο ψημένος ασβεστόλιθος αντιδρά με SO _x που απομακρύνονται εν συνεχεία με υγρούς εκπλυτές
Με ανθρακικό νάτριο	Το ανθρακικό νάτριο αντιδρά με SO _x σε ξηρό σύστημα προς σουλφίδιο του νατρίου (Na ₂ S) και CO ₂ . Το Na ₂ S απομακρύνεται με σακόφιλτρα
Επεξεργασία με κιτρικά	Κιτρικό προστίθεται σε εκπλυτή νερού για να ενισχύσει τη διάλυση του SO ₂ στο νερό. Στη συνέχεια απομακρύνεται S από το διάλυμα του κιτρικού
Προσρόφηση από CuO	Τα SO _x αντιδρούν με CuO προς από Cu ₂ S. Μετά γίνεται απομάκρυνση με φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων Cu ₂ S
Έκπλυση με καυστικά	Τα καυστικά εξουδετερώνουν τα SO _x . Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μικρές διεργασίες

Η ξηρά απομάκρυνση του SO₂ μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα ίδια χημικά με αυτά των υγρών διαδικασιών, προσθέτοντας τα σε ένα θάλαμο υπό μορφή ψεκασμού και έπειτα απομακρύνοντας τα διεσπαρμένα οξείδια με ένα φίλτρο κλασικού τύπου ή ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο. Η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει τεράστια εμπειρία σε συστήματα ελέγχου SO₂.

Ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί με καταλύτες ή απορροφητές, αλλά τα περισσότερα συστήματα ελέγχου έχουν επικεντρωθεί σήμερα στη βελτιστοποίηση της διεργασίας καύσης ώστε να μειωθεί ο σχηματισμός των NO_x. Εξελιγμένοι καταλύτες, εξελιγμένοι καυστήρες, σταδιακή καύση, χρήση συστημάτων χαμηλής θερμοκρασίας (συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης όπως θα δούμε στη συνέχεια), αλλά και πολλά άλλα μέτρα έχουν παρθεί σήμερα για την επίλυση του προβλήματος.

Η αποτέφρωση (στερεών αποβλήτων) μοιάζει με τις διεργασίες παραγωγής ενέργειας καθώς και εδώ η κύρια διεργασία είναι η καύση με οξυγόνο. Η διεργασία της αποτέφρωσης σχεδιάζεται ως διεργασία διαχείρισης απορριμμάτων και η οποιαδήποτε μορφή ενέργειας, που είναι επόμενο ότι θα παραχθεί, θεωρείται δευτερογενές προϊόν. Δεν είναι δηλαδή, προς το παρόν τουλάχιστον, ο αυτοσκοπός η παραγωγή ενέργειας με αυτή τη διεργασία, αν και υπάρχουν τάσεις υποδηλώνουν μια τέτοια εξέλιξη.

Ένας κλίβανος αποτέφρωσης απορριμμάτων λειτουργεί συνήθως με καύσιμο ποικίλης και περιοδικά μεταβαλλόμενης χημικής σύστασης, υγρασίας, φυσικών ιδιοτήτων και θερμικής αξίας. Επίσης, ένα καύσιμο το οποίο χρησιμοποιείται σε ένα μέρος μπορεί να

διαφέρει ριζικά από ένα άλλο το οποίο χρησιμοποιείται σε ένα κλίβανο του ίδιου σχεδιασμού αλλά σε διαφορετικό μέρος.

Οι αέριοι ρύποι από τους κλίβανους απορριμμάτων αποτελούνται από μικροσωματίδια (ιπτάμενη τέφρα, άνθρακα, μέταλλα, οξειδία των μετάλλων κ. ά.), εύφλεκτα αέρια όπως CO, οργανικά πτητικά (VOCs), πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) και μη εύφλεκτα αέρια όπως οξειδία του αζώτου, οξειδία του θείου και υδροχλωρίο (HCl).

Τα NO_x σχηματίζονται με δύο μηχανισμούς: θερμικά NO_x, όταν ατμοσφαιρικό οξυγόνο και άζωτο ενώνονται στην υψηλή θερμοκρασία του φούρνου, και καύσιμο NO_x, όταν καίγονται αζωτούχες οργανικές ενώσεις. Οι εκπομπές HCl είναι υψηλές λόγω των μεγάλων συνήθως ποσοτήτων αλογονομένων πολυμερών στα απορρίμματα, με σημαντικότερο το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Ένα κιλό καθαρού PVC αποδίδει περίπου 0,6 κιλά HCl. Οι εκπομπές ΠΑΥ σχετίζονται άμεσα με τον βαθμό ελέγχου της καύσης.

Συστήματα ελέγχου, που βασίζονται στην έκπλυση με υγρά, μπορούν να απομακρύνουν μερικά υδροδιαλυτά αέρια, αλλά το μεγάλο πρόβλημα που παραμένει είναι η διαχείριση της σωματιδιακής ύλης. Έτσι, το σύστημα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας διεργασίας αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων αποτελείται συνήθως από μια απλή συσκευή απορρόφησης (έκπλυσης), και ένα πολλαπλό κυκλώνα μικρής διαμέτρου ή ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο (ESP). Οι πολλαπλοί κυκλώνες είναι τα φθηνότερα συστήματα ενώ τα ESPs είναι τα ακριβότερα [9].

5.2.2. Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων

Η σωματιδιακή ύλη παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στην κατανομή μεγέθους σωματιδίων, στο σχήμα, τη χημική σύσταση, το ειδικό βάρος, την πυκνότητα, την ηλεκτρική συνοχή, την αγωγιμότητα κ.ά. η επιλογή του εξοπλισμού για την αφαίρεση της σκόνης περιπλέκεται ακόμα περισσότερο από την ποσότητα και την ποιότητα του επεξεργαζόμενου αερίου.

Εξαιτίας αυτών των απεριόριστων μεταβλητών, το πρώτο βήμα στην επιλογή του εξοπλισμού για την αφαίρεση της σκόνης είναι η αναγνώριση του προβλήματος καθαρισμού του αερίου και η δυνατότητα καθαρισμού του με τους 4 τύπου εξοπλισμού που είναι εμπορικά διαθέσιμοι:

- α) Μηχανικοί συλλέκτες
- β) Εκπλυτές, ή υγροί συλλέκτες, ή πλημμυρίδες, ή απλώς υγρά φίλτρα
- γ) Υφασμάτινα φίλτρα ή σακόφιλτρα
- δ) Ηλεκτροστατικοί συλλέκτες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs).

Η επιλογή της κατάλληλης διεργασίας δεν είναι εύκολο πρόβλημα. Έτσι, έχει αναπτυχθεί σήμερα ένας μεγάλος αριθμός εταιριών που είναι διαθέσιμος για την γρήγορη και οικονομική λύση τέτοιων προβλημάτων.

Παρακάτω λοιπόν θα αναλυθούν τα κύρια χαρακτηριστικά και η λειτουργικότητα των τεσσάρων βασικών συστημάτων ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από σωματιδιακή ύλη.

5.2.2.1. Μηχανικοί συλλέκτες

Το ειδικό βάρος της σωματιδιακής ύλης είναι τυπικά 1-2 φορές μεγαλύτερο του ειδικού βάρους του αερίου που το εμπεριέχει. Οι μηχανικοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται αυτή τη διαφορά στο ειδικό βάρος, για να διαχωρίσουν τη βαριά σωματιδιακή ύλη από το ελαφρότερο αέριο. Βασικοί τύποι των μηχανικών συλλεκτών είναι:

1. Οι βαρυτικοί συλλέκτες (καθίζηση δια βαρύτητας)

2. Οι συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία
3. Οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Βαρυτικοί συλλέκτες

Ο συλλέκτης αυτός υποβιβάζει την ταχύτητα του αερίου σε ταχύτητα ικανή για καθίζηση και για επαρκές χρονικό διάστημα ώστε να μπορέσει να κατακαθίσει η βαρύτερη (από το αέριο) σωματιδιακή ύλη, υπό την επίδραση της βαρύτητας, μέσα σε χοάνες από όπου απομακρύνεται περιοδικά. Οι ταχύτητες καθίζησης κυμαίνονται από 20-200 m/min.

Το μοναδικό μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι η πολύ χαμηλή του απόδοση σε λεπτόκοκκη και μέτρια σωματιδιακή ύλη, οπότε εάν η κατακράτηση της κρίνεται απαραίτητη, η χρήση αυτού του συστήματος είναι μειονεκτική.

Κυκλώνες εκτροπής με ανακυκλοφορία

Το αέριο σε έναν συλλέκτη εκτροπής με ανακυκλοφορία για να καθαριστεί εισάγεται με μεγάλη ταχύτητα σε έναν οριζόντιο εκτροπέα αποτελούμενο από οπές οι οποίες απέχουν μεταξύ τους περίπου 1.5 cm. Για να περάσει ανάμεσα από τις οπές και να φτάσει στο θάλαμο καθαρού αερίου στην έξοδο, το ακάθαρτο αέριο πρέπει να κάνει μια ξαφνική, υψηλής ταχύτητας, στροφή. Τα αέρια που έχουν χαμηλό ειδικό βάρος κάνουν πολύ εύκολα αυτή την απότομη στροφή. Αντίθετα, η βαρύτερη σωματιδιακή ύλη, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να ακολουθήσει αυτή την πορεία και συγκρατείται κάτω από τον εκτροπέα μέχρις ότου παγιδευτεί στον υποδοχέα σωματιδιακής ύλης. Η σκόνη μεταφέρεται με φθίνουσα ταχύτητα και καθιζάνει μέσα στη χοάνη του συλλέκτη (όπως σε ένα θάλαμο βαρυτικής καθίζησης).

Καθότι η απόδοση του είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του βαρυτικού συλλέκτη, αυτό δεν είναι επαρκές ώστε να αντιμετωπίσει λεπτόκοκκο φορτίο σκόνης, εκτός αν χρησιμοποιηθεί σαν προ-καθαριστής αερίου και κατόπιν ακολουθήσει ένας αποδοτικότερος συλλέκτης, μέθοδος που συνηθίζεται.

Κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Φυγόκεντροι συλλέκτες, συχνά καλούμενοι κυκλώνες, διαχωρίζουν λεπτόκοκκη (κατά προτίμηση) σωματιδιακή ύλη από ένα φέρον αέριο, μετασχηματίζοντας την ταχύτητα του ρεύματος εισόδου σε μια κατερχόμενη εξωτερική δίνη και μια ανερχόμενη εσωτερική δίνη, και οι δύο περιορισμένες στο πάνω εσωτερικό μέρος του κώνου του κυκλώνα. Η ταχέως περιστρεφόμενη καθοδική δίνη κατακρατά τα βαρύτερα σωματίδια στα τοιχώματα του κυκλώνα με την ανάπτυξη φυγόκεντρης δύναμης και τα εναποθέτει στη χοάνη, από όπου απομακρύνονται περιοδικά. Η ανοδική εσωτερική δίνη του καθαρισμένου αερίου εγκαταλείπει τον κυκλώνα διαμέσου ενός κυλίνδρου που βρίσκεται στην κορυφή του κυκλώνα.

Η μορφή της ροής σε έναν κυκλώνα μπορεί να είναι από απλή μέχρι περίπλοκη, εξαρτώμενη από πολλές μεταβλητές όπως ο τύπος της εισόδου, οι αναλογίες των διαστάσεων κ.ά.

Εξαιτίας της απλότητας, αξιοπιστίας και υψηλής απόδοσης του, ο κυκλώνας έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τα τελευταία 100 χρόνια. Για να επιτευχθεί μια επιθυμητή λειτουργία, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ εκατοντάδων τύπων συλλεκτών σωματιδιακής ύλης που χρησιμοποιούν τη βασική αρχή λειτουργίας του κυκλώνα. Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι που κυκλοφορούν είναι 3:

- α) Κυκλώνες μικρής διαμέτρου με πτερύγια
- β) Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο
- γ) Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο και εκχυτήρα λεπτόκοκκων σωματιδίων.

Καθένας από τους παραπάνω, ευρέως χρησιμοποιούμενους, τύπους έχει έμφυτα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι διαθέσιμος σε ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων και αναλογιών, οι οποίες και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του. Είναι σημαντικό να γίνει σωστή επιλογή ώστε να μεγιστοποιηθούν τα πλεονεκτήματα και να ελαχιστοποιηθούν τα μειονεκτήματα, εφόσον αυτά σχετίζονται με την κάθε εφαρμογή. Τα παρακάτω χαρακτηριστικά είναι κοινά και για τους 3 τύπους κυκλώνων οι οποίοι διαφέρουν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο το ακάθαρτο αέριο εισάγεται στον κύλινδρο:

- 1) Απόδοση
- 2) Απώλεια ενέργειας ροής (πτώση πίεσης)
- 3) Δυναμικότητα

Μια αλλαγή στις διαστάσεις του κυκλώνα ή στην ακτίνα επηρεάζει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω παράγοντες δεν μπορούν να ποικίλλουν απεριόριστα. Τα τελικά λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε κυκλώνα είναι το αποτέλεσμα μιας περίπλοκης συσχέτισης όλων των κρίσιμων διαστάσεων και ακτινών [9].

5.2.2.2. Φίλτρα από ύφασμα (σακόφιλτρα)

Τα σακόφιλτρα είναι συλλέκτες με τις περισσότερες εφαρμογές στην απομάκρυνση ξηρών (άνυδρων) σωματιδίων από ένα ρεύμα εκπομπών. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τέτοιων φίλτρων. Σε όλα αυτά τα φίλτρα η σκόνη κατακρατείται από την μια πλευρά του υφάσματος (από αυτή που εισάγεται το πλούσιο σε σωματίδια αέριο) ενώ από τα διάκενα του υφάσματος διαπερνά το καθαρό αέριο. Σε ένα τυπικό εμπορικό σάκοφίλτρο αυτά τα διάκενα είναι διαστάσεων 100 μm . Ένας συλλέκτης αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να παγιδεύσει σωματίδια περίπου της τάξεως των 0,5 μm .

Η ικανότητα του φίλτρου να συλλέγει τόσο λεπτόκοκκο υλικό είναι ένα αποτέλεσμα της συνεχούς ενίσχυσης αυτής της ικανότητας από ένα πορώδες στρώμα σωματιδίων που σχηματίζεται στην πλευρά συλλογής. Αυτό το στρώμα, το οποίο λέγεται πλάκα ή κρούστα του φίλτρου, φράσσει σταδιακά τα μεγαλύτερα σε διαστάσεις διάκενα και αιχμαλωτίζει όλο και πιο λεπτά σωματίδια.

Στα φίλτρα στα οποία χρησιμοποιούνται πιο συμπαγή υφάσματα, δηλαδή μια σύνθετη μάζα από ένα λαβύρινθο λεπτών ινών τυχαία προσανατολισμένων, η εξάρτηση της απόδοσης από την πλάκα είναι μικρότερη. Τα φίλτρα αυτού του τύπου δεν μπορούν να καθαριστούν αποτελεσματικά με απλό τίναγμα και πρέπει να καθαρίζονται συχνά με ανάστροφο αέριο ρεύμα υψηλής πίεσης.

Οι φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι προκαλούν το σχηματισμό της πλάκας είναι κυρίως οι ακόλουθοι:

- συσσώρευση λεπτόκοκκου υλικού που κινείται αντίθετα προς το ρεύμα
- ενσφήνωση των μεγάλων σωματιδίων στις ίνες
- διάχυση σωματιδίων μέσα από τις ίνες (αυτά τα σωματίδια έχουν διαστάσεις $< 1 \mu\text{m}$)
- ηλεκτροστατική έλξη και άπωση
- θερμικές επιδράσεις
- χοντρό κοσκίνισμα από το ύφασμα
- λεπτό κοσκίνισμα από την πλάκα του φίλτρου.

Οι συσκευές με υφασμάτινα φίλτρα υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών και τύπων [9].

5.2.2.3. Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)

Οι εκπλυτές (υγρά φίλτρα) χρησιμοποιούν ένα υγρό, συνήθως νερό, για να παγιδεύσουν και να απομακρύνουν σωματιδιακή ύλη από ένα ρέον ρεύμα. Το υγρό εισέρχεται σε ένα ειδικό θάλαμο υπό μορφή ψεκασμού.

Το ακάθαρτο αέριο επιβραδύνεται στο στόμιο εισόδου, περνάει μέσα από τη δίνη που προκαλείται από τη δύναμη των ψεκαστών, έπειτα διέρχεται από τον τομέα απομάκρυνσης της ομίχλης (κατακράτηση υγρών σωματιδίων), και επιταχύνεται στο στόμιο εξόδου για να ανακτήσει ξανά την ταχύτητα εισόδου.

Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται κυρίως με τη σύγκρουση ανάμεσα σε ένα σωματίδιο σκόνης και ένα σταγονίδιο νερού, με αποτέλεσμα τη δέσμευση του πρώτου από το δεύτερο. Η συλλογή των σωματιδίων από τα σταγονίδια του υγρού προκαλείται από τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- πρόσκρουση των μεγαλύτερων σωματιδίων σκόνης στις σταγόνες
- σύλληψη λόγω διάχυσης των λεπτών σωματιδίων
- ηλεκτροστατικές δυνάμεις
- θερμικές κλίσεις
- συμπύκνωση υγρασίας σε σωματίδια

Οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν ως αποτέλεσμα το σωματίδιο, δεσμευμένο πλέον από μια σταγόνα νερού, να γίνεται μεγαλύτερο και βαρύτερο. Αυτή η αύξηση στο μέγεθος και το βάρος βοηθάει στη διαδικασία συλλογής και απομάκρυνσης των σωματιδίων από τις δυνάμεις βαρύτητας, αδράνειας ή και φυγόκεντρες δυνάμεις (ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του υγρού φίλτρου).

Οι σταγόνες λιμνάζουν στον πυθμένα απελευθερώνοντας τη σκόνη, η οποία, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό, καθιζάνει και σχηματίζει λάσπη που περιοδικά αντλείται.

Κατά την έξοδο των αερίων συνδυάζονται (μέσω ειδικής κατασκευής) οι δυνάμεις αδράνειας και βαρύτητας, ώστε τα σταγονίδια που να προσκρούουν στην επιφάνεια του λιμνάζοντος υγρού και να απομακρυνθεί η ομίχλη που διαφεύγει από τον θάλαμο ψεκασμού.

Το υγρό, αφού καθαριστεί ευχερώς ώστε να αποφευχθούν προβλήματα διάβρωσης των εγκαταστάσεων, μπορεί να ανακυκλωθεί. Ο θάλαμος ψεκασμού μπορεί να διαθέτει και διαφράγματα πρόσκρουσης και εκτροπής της ροής που αυξάνουν την απόδοση του υγρού φίλτρου. Έχει αναπτυχθεί μια μεγάλη ποικιλία υγρών φίλτρων που συνδυάζουν το σχέδιο του κυκλώνα υπό ταυτόχρονο ψεκασμό ή τη χρήση διαβρεχόμενων σακόφιλτρων μέσα στο θάλαμο ψεκασμού [9].

5.2.2.4. Ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs: Electrostatic Precipitators)

Το ηλεκτροστατικό φίλτρο εφευρέθηκε το 1910 από τον Frederic Garder Cottrell του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας. Οι ηλεκτροστατικές συσκευές (ESPs) εφαρμόζονται σε ένα μεγάλο φάσμα προβλημάτων καθαρισμού αερίων με αποδόσεις συλλογής που φτάνουν το 99,9%, χωρητικότητες έως 120.000 m³/min και σε θερμοκρασίες επεξεργασμένου αερίου έως 550°C. Το 1970 στις ΗΠΑ είχαν εγκατασταθεί πάνω από 5000 εγκαταστάσεις που καθάριζαν 20 εκατομμύρια m³/min ακάθαρτων αερίων, προερχόμενα κυρίως από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια συσκευή ESP (σχ. 4.8) διαχωρίζει τα σωματίδια ύλης από ένα ρεύμα αερίου, αρχικά φορτίζοντας τα σε ένα αρνητικό δυναμικό περίπου 50.000 V και κατόπιν προσκολλώντας τα πάνω σε ειδικά επίπεδα ηλεκτρόδια συλλογής. Τελικά η συσσωρευμένη σκόνη συλλέγεται σε μια χοάνη. Παρόλο που χρησιμοποιούνται υψηλές τάσεις, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή και οι απώλειες των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι οι μικρότερες από όλους τους άλλους συλλέκτες υψηλής απόδοσης.

Σε εμπορικές μονάδες φυσικού μεγέθους, το πλούσιο σε σωματιδιακή ύλη αέριο περνά οριζόντια μέσα από στενά περάσματα που σχηματίζονται από παράλληλες πλάκες γειωμένων ηλεκτροδίων συλλογής. Ηλεκτρικά μονωμένα, σύρματα υψηλής τάσης είναι τοποθετημένα στους χώρους διέλευσης του αερίου, περίπου στο μέσο της απόστασης των πλακών (γειωμένων ηλεκτροδίων).

Οι τυπικές διαστάσεις των χωρισμάτων διέλευσης του αερίου (απόσταση πλακών) σε ένα μεγάλο ESP του εμπορίου είναι: 24 cm απόσταση, 9 m ύψος και 8 m μήκος. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων υψηλής τάσης και των γειωμένων πλακών συλλογής, είναι το μισό του πλάτους του χώρου διελεύσεως του αερίου, δηλαδή 12 cm.

Η ροή ηλεκτρικών φορτίων μεταξύ συρμάτων και πλακών ονομάζεται «ηλεκτρικός άνεμος» και είναι το αποτέλεσμα μαζικής μεταφοράς αρνητικά φορτισμένων ιόντων αερίου από τα αρνητικά φορτισμένα σύρματα προς τις θετικά φορτισμένες (γειωμένες) πλάκες συλλογής.

Ιονισμός αερίου, ηλεκτρική φόρτιση σωματιδίων και συνεπακόλουθα αποτελέσματα

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα λειτουργούν στα 40.000 έως 50.000 V χαμηλότερα από το δυναμικό της Γης. Αυτό το δυναμικό είναι αρκετό για να δώσουν τα σύρματα δισεκατομμύρια ηλεκτρόνια που βομβαρδίζουν τα μόρια του αερίου σε μικρή ακτίνα γύρω από αυτά. Η δύναμη αυτού του βομβαρδισμού σχηματίζει θετικά και αρνητικά ιόντα αερίου, των οποίων η παρουσία πιστοποιείται από ένα ορατό μπλε στεφάνι.

Τα ιόντα υπό την επενέργεια της μεγάλης ηλεκτροστατικής δύναμης κινούνται προς τα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια. Τα θετικά ιόντα του αερίου επιστρέφουν στα αρνητικά σύρματα και ξανακερδίζουν τα χαμένα τους ηλεκτρόνια. Τα αρνητικά ιόντα του αερίου κινούνται προς τα γειωμένα (σχετικώς θετικά) ηλεκτρόδια συλλογής, πλημμυρίζουν το διερχόμενο αέριο με δισεκατομμύρια αρνητικά ιόντα αερίου. Η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε μια συσκευή ESP είναι η ροή των αρνητικών ιόντων αερίου από τα σύρματα προς τις πλάκες.

Καθώς τα σωματίδια σκόνης, παρασυρόμενα από το αέριο, διέρχονται ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια, συγκρούονται με τα αρνητικά ιόντα του αερίου και φορτίζονται αρνητικά. Επειδή τα ιόντα του αερίου είναι χιλιάδες φορές μικρότερα από τα σωματίδια ύλης και εξαιτίας του μεγάλου τους αριθμού, υπάρχουν πάντα άφθονες ποσότητες φορτίου για την ηλεκτρική φόρτιση των σωματιδίων. Έτσι τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια ύλης κινούνται γρήγορα προς τις γειωμένες (θετικές) πλάκες, στις οποίες προσκολλώνται και κρατιούνται από μεγάλες ηλεκτροστατικές δυνάμεις.

Τα σωματίδια ύλης σχηματίζουν μία συνεχώς αυξανόμενη κρούστα πάνω στα σωματίδια συλλογής, και το αρνητικό φορτίο διαρρέει σταδιακά την κρούστα αυτή προς τα γειωμένα ηλεκτρόδια συλλογής. Καθώς η κρούστα μεγαλώνει, τα ηλεκτρικά φορτία που μεταφέρει η νέα προσκολλούμενη σωματιδιακή ύλη πρέπει να αχθούν διαμέσου της κρούστας που έχει δημιουργηθεί. Η ηλεκτρική αντίσταση της κρούστας στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται «ειδική αντίσταση σκόνης».

Εφόσον προσκολλήσει η σωματιδιακή ύλη και δημιουργήσει μια κρούστα (πλάκα) πάχους περίπου 0,2-0,6 cm, τα σωματίδια δίπλα στα ηλεκτρόδια συλλογής έχουν χάσει πολύ από το φορτίο τους προς τις γειωμένες πλάκες. Η ηλεκτρική έλξη έχει αποδυναμωθεί. Τα σωματίδια που έχουν φτάσει πρόσφατα κρατούν ακόμη πολύ από το φορτίο τους, είναι ηλεκτρικά μονωμένα από τα γειωμένα επίπεδα ηλεκτρόδια εξαιτίας της κρούστας και έτσι συγκρατούν ολόκληρη την κρούστα πάνω στο ηλεκτρόδιο συλλογής. Ένα δυνατό τίναγμα απογυμνώνει το ηλεκτρόδιο συλλογής από την κρούστα. Η δύναμη που εφαρμόζεται στο τίναγμα είναι ελεγχόμενη ώστε να θρυμματίσει την κρούστα σε σχετικά μεγάλα συσσωματώματα σωματιδίων και να μην δημιουργήσει εκ νέου πολύ μικρά σωματίδια.

Τα σχετικά μεγάλα συσσωματώματα πέφτουν μέσα στις χοάνες υπό την επίδραση της βαρύτητας, ακριβώς όπως στο θάλαμο βαρυτικής καθίζησης. Τα περισσότερα ηλεκτροστατικά φίλτρα λειτουργούν με ταχύτητες αερίων που κυμαίνονται από 1 έως 2 m/sec. Το υψηλό δυναμικό δεν διακόπτεται για να αποφευχθεί η διαφυγή σωματιδίων από το φίλτρο.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων

Το κύριο πλεονέκτημα του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η υψηλή απόδοση συλλογής και το μικρό κόστος λειτουργίας. Απαιτεί τη μικρότερη ενέργεια από όλους τους συλλέκτες υψηλής απόδοσης. Επιπλέον πλεονέκτημα είναι η υψηλή αξιοπιστία σε κάθε απαιτούμενη απόδοση συλλογής. Μοναδικά μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης για διεργασίες μικρής δυναμικότητας (ειδικά για μεγέθη κάτω από 1.500 m³/min), η απρόβλεπτη απόδοση συλλογής σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις σκονών και η απώλεια της απόδοσης συλλογής σε ροές αερίων πάνω από την προσχεδιασμένη [9].

5.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΝΘΡΑΚΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Με τον όρο καθαρή καύση του άνθρακα, εννοούμε την καύση σε συνθήκες στις οποίες επιτυγχάνεται υψηλή και φιλικότερη προς το περιβάλλον (λόγω των χαμηλών εκπομπών ρυπαντών) εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου του άνθρακα. Το σύστημα καύσης είναι οικονομικό στην κατασκευή και στη λειτουργία του και τεχνικά αξιόπιστο.

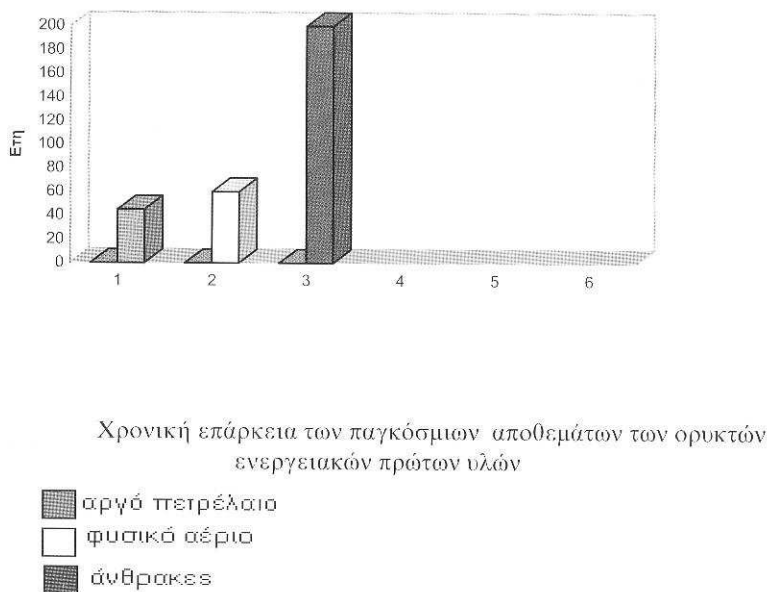
Οι καθαρές τεχνολογίες καύσης δεν είναι ο μοναδικός τρόπος παρέμβασης στην κατεύθυνση της ενεργειακά αποδοτικής και φιλικής προς το περιβάλλον εκμετάλλευσης των ανθράκων. Σημαντικές δυνατότητες παρέχουν και παρεμβάσεις στην προετοιμασία του καυσίμου αλλά και στην δέσμευση των ρυπαντών στα προϊόντα της καύσης (φίλτρα ιπτάμενης τέφρας, εγκαταστάσεις αποθείωσης κ.α.).



Σχήμα 5.1. Σχεδιάγραμμα βελτιωτικών τεχνολογιών καύσης άνθρακα για μείωση των εκπομπών ρύπων [10].

Η επάρκεια των ανθράκων, με τους σημερινούς ρυθμούς εκμετάλλευσης, φθάνει σε παγκόσμιο επίπεδο, τα 200 χρόνια περίπου (σχήμα 5.2.). Το δεδομένο αυτό μαζί με την ευνοϊκή γεωγραφική κατανομή των αποθεμάτων τους - σε αντιδιαστολή με το πετρέλαιο που είναι προνόμιο λίγων σχετικά χωρών - οδηγούν στο συμπέρασμα ότι και στο μέλλον, οι ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας, θα στηρίζονται αναπότρεπτα και σε μεγάλο βαθμό στην αξιοποίηση τους. Κάθε επένδυση επομένως στην κατεύθυνση της βέλτιστης αξιοποίησης των ανθράκων αποκτά μέγιστη προτεραιότητα τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς λόγους.

Το υποκεφάλαιο αυτό αφορά τις καθαρές τεχνολογίες καύσης του άνθρακα και συγκεκριμένα των λιγνιτών της χώρας μας, οι οποίοι θα παραμείνουν για πολλά ακόμη χρόνια η σημαντικότερη εγχώρια ενεργειακή πρώτη ύλη. Στους λιγνίτες, αν δεν λάβουμε υπόψη τις ΑΠΕ μπορεί να στηριχθεί μακροχρόνια η ελληνική ενεργειακή πολιτική με κύρια επιδίωξη, την ενεργειακή ασφάλεια, το χαμηλό και προβλέψιμο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη και τη διασφάλιση σημαντικού αριθμού θέσεων εργασίας.



Σχήμα 5.2. Χρονική επάρκεια των παγκόσμιων αποθεμάτων των ορυκτών ενεργειακών πρώτων υλών (σε έτη) [10].

Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχτεί το 25 % περίπου των εγχώριων αποθεμάτων, ενώ σύμφωνα με τις τρέχουσες προβλέψεις τα σημερινά αποθέματα επαρκούν για την ηλεκτροπαραγωγή κατά τα επόμενα 60-70 χρόνια.

5.3.1. Τεχνολογίες καύσης των ανθράκων

Η καύση των ανθράκων είναι μια σύνθετη φυσικοχημική διεργασία στενά εξαρτώμενη από την ποιότητα του άνθρακα, με αποτέλεσμα κάθε προσπάθεια κατασκευής θερμοηλεκτρικών μονάδων να στηρίζεται σε εμπειρικές μεθοδολογίες και πιλοτικές δοκιμές. Εκτός αυτού, το υψηλό κόστος επένδυσης τέτοιων μονάδων καθιστά αναγκαία την διεθνή συνεργασία και ειδικότερα χωρών με συγγενικά καύσιμα (π.χ. Ελλάδα, Γερμανία, Πολωνία κ.α.). Η επιλογή των τεχνολογιών καύσης πρέπει να στηρίζεται στο τρίπτυχο κάλυψη των ενεργειακών αναγκών - ικανοποίηση των περιβαλλοντικών περιορισμών - ελαχιστοποίηση του επιχειρηματικού κινδύνου. Οι κυριότερες τεχνολογίες καύσης που χρησιμοποιούνται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο εγγύς μέλλον σε εμπορικό επίπεδο παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

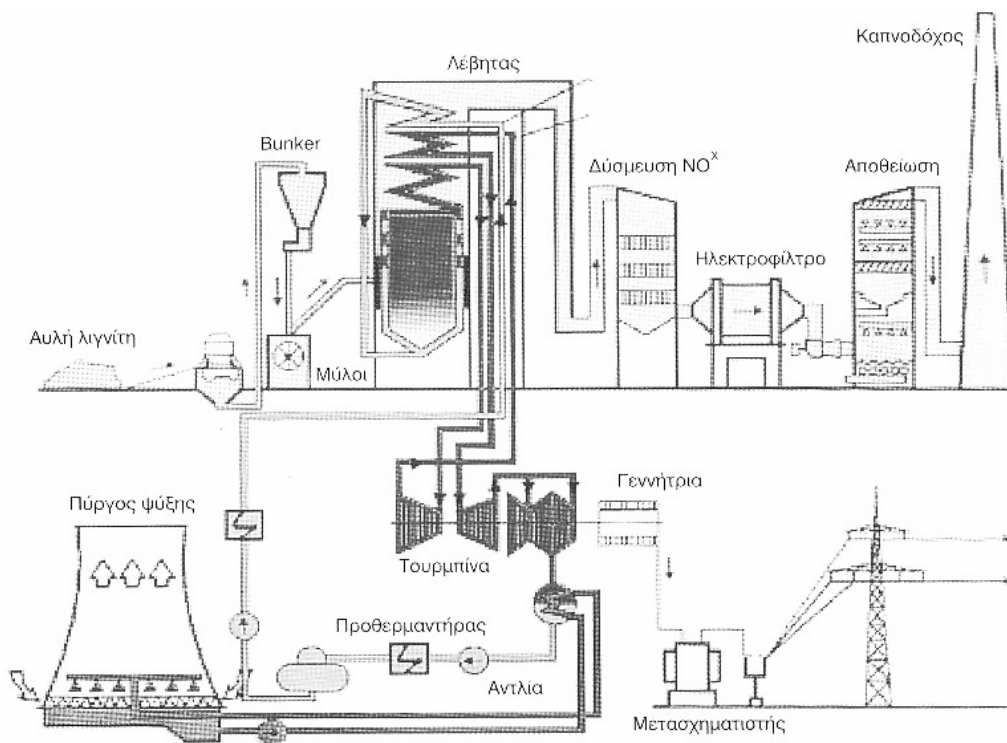
Α) Καύση κονιορτοποιημένου άνθρακα

Η καύση κονιορτοποιημένου άνθρακα (Pulverized Fuel Combustion-PFC) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί τον συνηθέστερο τρόπο λειτουργίας των εστιών καύσης των μεγάλων θερμοηλεκτρικών σταθμών, με υψηλό βαθμό λειτουργικής αξιοπιστίας και οικονομικότητας, κυρίως λόγω των συνεχών τεχνικών και θερμοδυναμικών βελτιώσεων. Στη μέθοδο αυτή ο άνθρακας κονιοποιείται σε λεπτά σωματίδια, μεταφέρεται στους καυστήρες μέσα σε ρεύμα αέρα και εμφυσάται στον λέβητα όπου καίγεται σε διασπορά. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται πλήρης σχεδόν καύση του άνθρακα για χρόνο παραμονής ολίγων μόνο δευτερολέπτων.

Η αντιρρυπαντική τεχνολογία των μονάδων PFC στηρίζεται στην προσθήκη μονάδας αποθείωσης των καυσαερίων (Flue Gas Desulphurisation-FGD) για την κατακράτηση του SO₂. Σε περιπτώσεις που η τέφρα είναι αλκαλική (πχ. Λιγνίτης Πτολεμαΐδας) η προσθήκη μονάδας FGD δεν είναι απαραίτητη. Φτωχά στερεά καύσιμα όπως ο ελληνικός λιγνίτης, δεν ευνοούν το σχηματισμό υψηλών συγκεντρώσεων οξειδίων του αζώτου (NO_x) λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών καύσης. Πλούσιοι γαιάνθρακες όμως

απαιτούν πρόσθετες διεργασίες για την δέσμευση των NO_x . Οι εκπομπές σκόνης (ιπτάμενης τέφρας) με τα καυσαέρια μπορούν να αντιμετωπισθούν με την χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων. Ο βαθμός απόδοσης των μονάδων PFC ανέρχεται στα 34-38% της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου.

Ένα διάγραμμα ροής μιας τυπικής μονάδας κονιορτοποιημένου λιγνίτη φαίνεται στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3. Διάγραμμα ροής μιας τυπικής μονάδας κονιορτοποιημένου λιγνίτη [10].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα μειονεκτήματα και προτερήματα των μονάδων κονιοποιημένου λιγνίτη.

Πίνακας 5.2. Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα μονάδων κονιοποιημένου λιγνίτη [10]

Προτερήματα	Μειονεκτήματα
<p>μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς (ως 600MW) απλή κατασκευή συσσωρευμένη εμπειρία</p>	<p>υψηλές επικαθίσεις τέφρας στον λέβητα υψηλές απαιτήσεις ενέργειας μύλους άλεσης υψηλού κόστους εγκαταστάσεις για δέσμευση της τέφρας</p>

B) Καύση σε ρευστοστερεά κλίνη

Η τεχνική της ρευστοστερεάς κλίνης (σχήμα 5.4), καταξιωμένη ήδη στην χημική τεχνολογία, εφαρμόστηκε στην καύση των υποβαθμισμένων ανθράκων από τις αρχές του 1960. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι τα εξής:

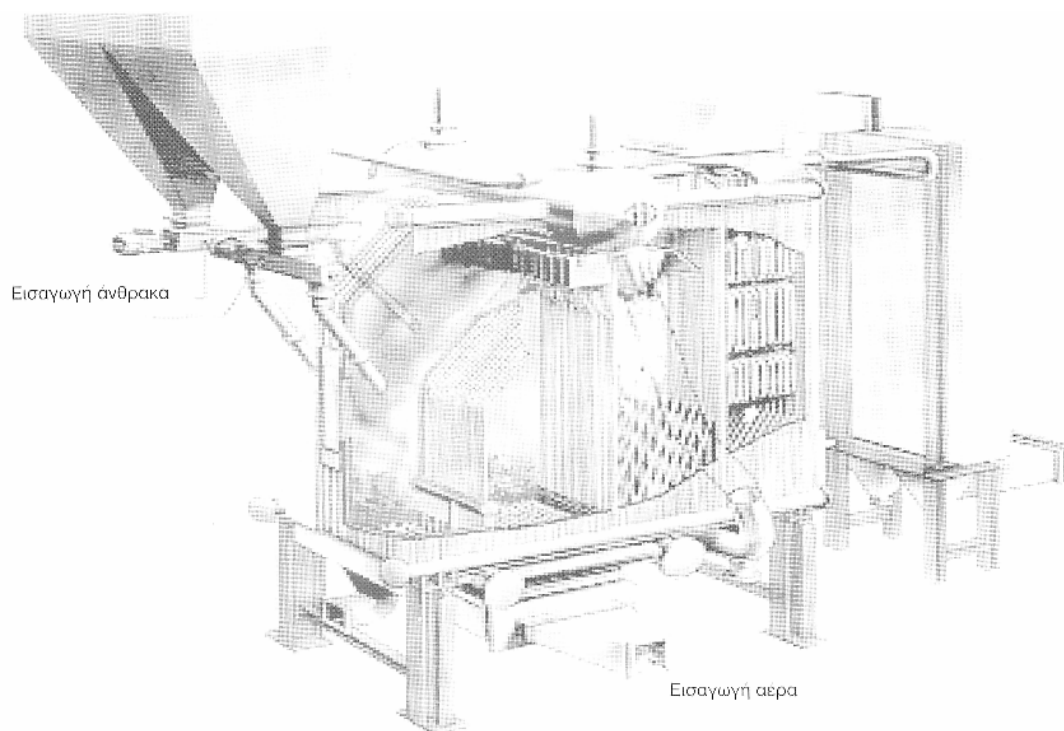
- Ικανότητα να καίει αποδοτικά χαμηλής και μεταβαλλόμενης ποιότητας γαιάνθρακες.
- Δυνατότητα προσθήκης ασβεστόλιθου ή δολομίτη σε στερεά μορφή εντός της κλίνης, για την δέσμευση των οξειδίων του θείου μέχρι 90%. Η περίσσεια με τα σχηματιζόμενα θειικά και νιτρικά άλατα απομακρύνονται μαζί με την τέφρα.
- Σχετικά χαμηλότερος σχηματισμός NO_x, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών καύσεως (800-900 °C).
- Οι χαμηλές θερμοκρασίες καύσης επιτρέπουν την καύση ανθράκων με υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, χωρίς προβλήματα σχηματισμού πλακούντα, λόγω μαλάκυνσης της τέφρας.
- Δεν απαιτούνται πρόσθετες μονάδες αποθείωσης των ανθράκων.

Σήμερα σε εμπορική κλίμακα έχουν αναπτυχθεί τρεις βασικές τεχνολογίες ρευστοστερεών κλινών καύσης:

1. Σταθερή κλίνη ατμοσφαιρικής πίεσης (AFBC)
2. Ανακυκλοφορούσα ρευστοστερεά κλίνη (CFBC)
3. Ρευστοστερεά κλίνη υψηλής πίεσης (PFBC)

B.1. Ρευστοστερεά κλίνη ατμοσφαιρικής πίεσης (AFBC)

Η εφαρμογή των κλινών καύσης υπό ατμοσφαιρική πίεση, έγινε με στόχο την αντικατάσταση των εστιών καύσης κονιοποιημένου άνθρακα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού. Λόγω της φύσης της διαδικασίας καύσης επιτυγχάνεται τόσο ικανοποιητικός έλεγχος των εκπομπών οξειδίων αζώτου και θείου όσο και η καύση ευρέως φάσματος ανθράκων με λίγα προβλήματα επικαθήσεων και διάβρωσης καθώς και με μειωμένες τις απαιτούμενες επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας. Η ταχύτητα ρευστοαιώρησης του καυσίμου από τον αέρα καύσης ανέρχεται στα 2-3 m/s και τα στερεά σωματίδια (1-40 mm) παραμένουν σε συνεχή ανάδευση έως ότου ολοκληρωθεί η καύση τους. Οι περισσότερες εφαρμογές ρευστοστερεών κλινών αφορούν κυρίως άνθρακες υψηλής τάξης. Σε σύνολο 88 εγκαταστάσεων, μόνο 3 χρησιμοποιούν λιγνίτη (Ινδία, Ιαπωνία, Νιγηρία). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μετατροπή συμβατικών μονάδων σε ρευστοστερεά κλίνη, ακολουθώντας το παράδειγμα της ανακατασκευής της μονάδας λιγνίτη Montana-Dakota (80 MW) που μετατράπηκε σε FBC.



Σχήμα 5.4. Θάλαμος καύσης ρευστοστερεάς κλίνης. Η αιώρηση του καυσίμου επιτυγχάνεται με την τροφοδοσία του αέρα στον πυθμένα του θαλάμου [10].

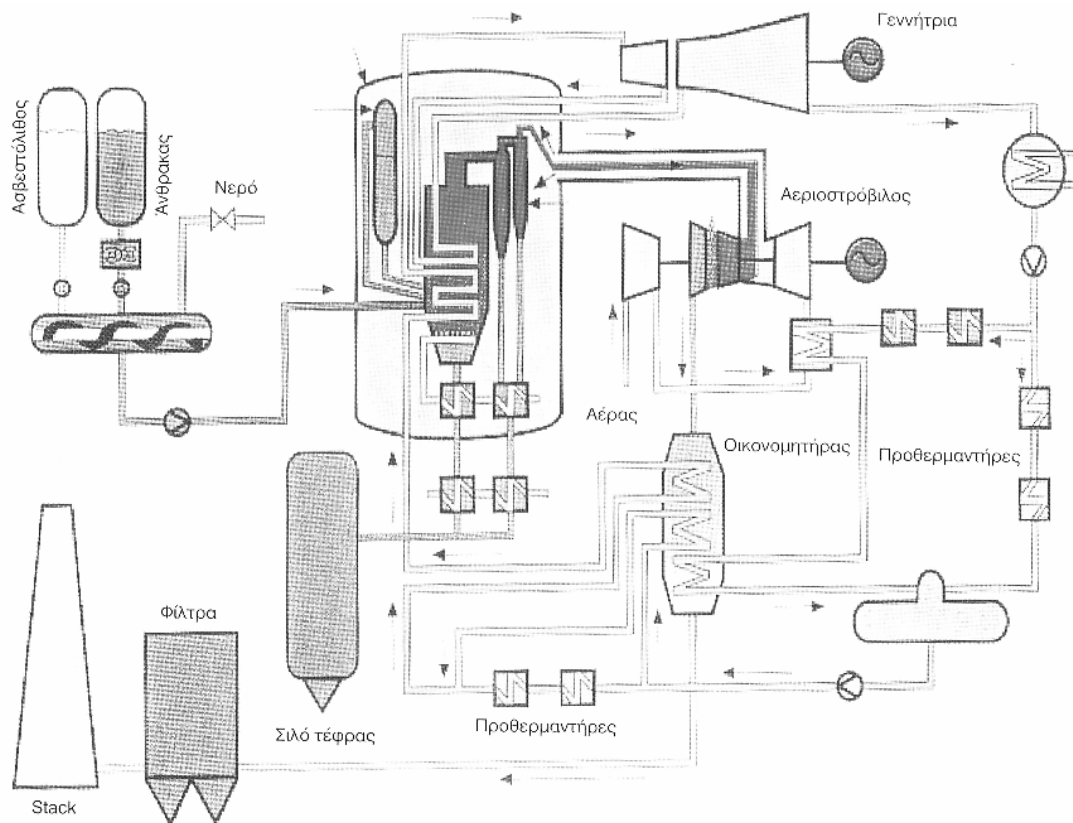
B.2. Ανακυκλοφορούσα ρευστοστερεά κλίνη (CFBC)

Άνθρακας και ασβεστόλιθος προσάγονται στην κλίνη. Το καύσιμο καίγεται σε ανάδευση αιωρούμενο σε τύρβη. Τα προϊόντα της καύσης από την ρευστοποιημένη κλίνη περιλαμβάνουν άκαυστο κάρβουνο και τέφρα. Με αύξηση της ταχύτητας του αέρα, τμήμα του καυσίμου συμπαρασύρεται με τον αέρα και εν μέρει καίγεται εν αιώρηση. Τα καυσαέρια διοχετεύονται στη συνέχεια σε κυκλώνες παρακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων (βλέπε κεφάλαιο 5.2.). Το μισοκαμμένο καύσιμο συγκρατείται στους κυκλώνες και επαναφέρεται στην κλίνη. Ο βαθμός απόδοσης τέτοιων μονάδων κυμαίνεται από 35 έως 40 %.

Μεγάλο πλεονέκτημα των ανακυκλοφορουσών κλινών είναι η δυνατότητα καύσης πτωχών ή πλουσίων καυσίμων με μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία και μάλιστα χωρίς προξήρανση.

B.3. Ρευστοστερεά κλίνη υψηλής πίεσης (PFBC)

Η τεχνολογία της PFBC στηρίζεται στην καύση του άνθρακα υπό πίεση 10-20 bar (σχήμα 5.5.). Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε συνδυασμένο σύστημα αμοστροβίλου/ αεροστρόβιλου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται βαθμός απόδοσης έως 45% και η εξοικονόμηση καυσίμου ανέρχεται στο 15% συγκριτικά με έναν συμβατικό σταθμό. Πριν την καύση ο άνθρακας θρυμματίζεται, αναμιγνύεται με δολομίτη και κατόπιν καίγεται σε σταθερή θερμοκρασία (850 °C). Τα απαέρια της καύσης οδηγούνται στον αεροστρόβιλο, όπου εκτονώνονται παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια, ενώ παράλληλα ο συμπιεστής συμπιέζει τον αέρα καύσης στην απαιτούμενη πίεση. Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης παρέχουν την δυνατότητα καύσης μεγάλης ποικιλίας καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα ενώ σημαντική είναι η μείωση των εκπομπών SO₂ και NO_x. Περαιτέρω πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι η ευελιξία στις αλλαγές φορτίου και οι μικρές διαστάσεις της εγκατάστασης.



Σχήμα 5.5. Διάγραμμα ροής ρευστοστερεάς κλίνης υπό πίεση [10].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται χαρακτηριστικές μονάδες PFBC που βρίσκονται σε λειτουργία

Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικές μονάδες PFBC [10].

	Μονάδα	Ισχύς (MW)	Έτος
Ευρώπη	Vartan	135	1990
	Escatron	70	1991
	Ostrava	60	1996
Αμερική	Tidd	70	1991
	Mountaneer	350	2000
	Iowa	70	1995
Ιαπωνία	Waganatsu	70	1994
	Kgushu	350	1997
	Hokkaido	85	1996

Γ) Συνδυασμένος κύκλος με αεριοποίηση

Πρόκειται για τεχνολογία αεριοποίησης του άνθρακα μέσω αντίδρασης του με υδρατμό και οξυγόνο όπου το παραγόμενο αέριο μετά από αποθείωση και καύση κινεί αεριοστρόβιλο. Τα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου τροφοδοτούν το λέβητα ενός ατμοστρόβιλου. Η κυριότερη τεχνολογία του είδους αυτού είναι τα Ολοκληρωμένα Συστήματα Εξαερίωσης Συνδυασμένου Κύκλου (IGCC), η οποία βασίζεται στην παραγωγή αερίου καυσίμου από την αεριοποίηση του άνθρακα. Το αέριο καύσιμο που παράγεται από τον εξαεριωτή καθαρίζεται και στην συνέχεια τροφοδοτείται στον αεριοστρόβιλο, όπου καίγεται με συμπιεσμένο αέρα. Τα θερμά καυσαέρια υψηλής πίεσης κινούν το στρόβιλο και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια (πρόκειται για την πρώτη βαθμίδα παραγωγής της μονάδας, όπου αναπτύσσεται περίπου το 60% της ισχύος). Τα

εκτονωμένα καυσαέρια διέρχονται από λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Ο ατμός οδηγείται στον αμοστρόβιλο για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μέθοδος IGCC μπορεί να πετύχει πολύ μικρές εκπομπές SO₂, NO_x και σωματιδίων. Η πρώτη Ευρωπαϊκή μεγάλη κλίμακας IGCC βρίσκεται στην Ολλανδία έχει βαθμό απόδοσης 43 %, πίεση λειτουργίας 28 bar και παράγει ισχύ 253 MW.

Δ) Υπερκριτικοί λέβητες

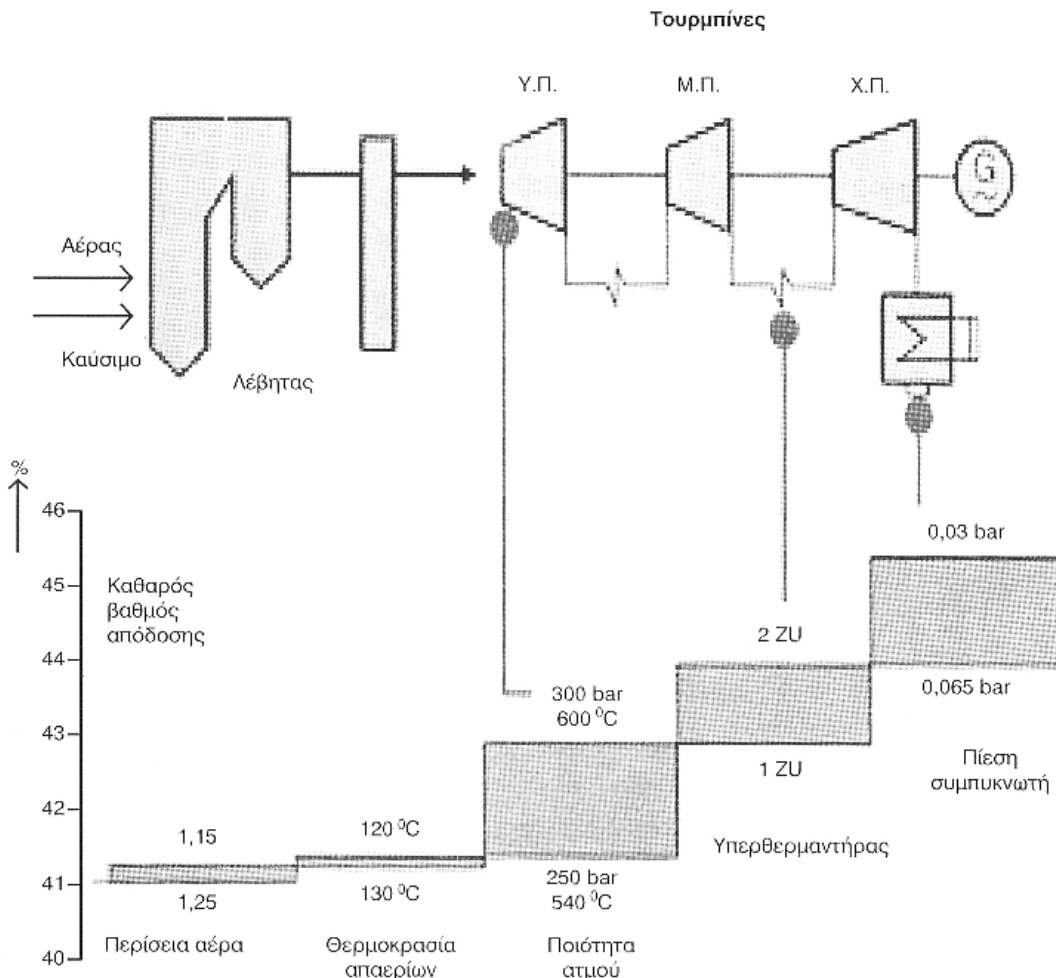
Οι υπερκριτικοί λέβητες λειτουργούν με πίεση ατμού μεγαλύτερη από την κρίσιμη πίεση (221.2 bar) επιτυγχάνοντας αύξηση του βαθμού απόδοσης των συμβατικών σταθμών, αποτελώντας έτσι το υψηλότερο στάδιο εξέλιξης των συμβατικών τεχνολογιών. Για καύσιμο λιγνίτη ο βαθμός απόδοσης μπορεί να φθάσει το 42% και 47% για πισσούχο άνθρακα. Μειονέκτημα όμως αποτελεί το υψηλό κόστος των μετάλλων για την κατασκευή του μηχανολογικού εξοπλισμού. Οι οστενιτικοί χάλυβες που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρότινος (1990), λόγω της χαμηλής τους θερμικής διαπερατότητας και του υψηλού βαθμού θερμικής διαστολής, παρουσίαζαν αρκετά προβλήματα όταν μεταβαλλόταν το φορτίο των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Εκτιμώντας οι ευρωπαϊκοί κατασκευαστές θερμοηλεκτρικών μονάδων την μεγάλη δυνατότητα εμπορικής εφαρμογής των υπερκριτικών λεβήτων ανέπτυξαν μια σημαντική ερευνητική συνεργασία στα πλαίσια του προγράμματος COST 501. Αποτέλεσμα αυτού του προγράμματος αποτελεί το σύστημα Λέβητας - Τουρμπίνα με τον κωδικό T91- P91. Ο λέβητας του συστήματος αυτού, φερρίτης-μαρτενσίτης με 9% χρώμιο, παράγει ατμό 290 bar/600 °C με βαθμό απόδοσης της μονάδας 47% (Δανία).

Οι Ιάπωνες αναμένεται να παρουσιάσουν μέχρι το 2006 υπερκριτικούς λέβητες τρίτης γενιάς (TB9, TB12 και HCM12), με την βοήθεια των οποίων θα επιτυγχάνεται βαθμός απόδοσης έως και 50% με καύσιμο λιθάνθρακα.

Οι τεχνικές δυνατότητες στις επί μέρους βαθμίδες του κύκλου παραγωγής, για την αξιοποίηση των οποίων καταβάλλονται σήμερα σοβαρές προσπάθειες, παρουσιάζονται εποπτικά στο παρακάτω σχήμα 5.6.

Στον επόμενο πίνακα 5.4., επιχειρείται μια χονδρική σύγκριση των προηγούμενων τεχνολογιών.

Τα στοιχεία που αφορούν τις νέες τεχνολογίες προέρχονται από τις εταιρίες που τις αναπτύσσουν και για το λόγο αυτό πρέπει να αξιολογηθούν με κάποια επιφύλαξη.



Σχήμα 5.6. Δυνατότητες αύξησης του βαθμού απόδοσης στις διάφορες βαθμίδες του ενεργειακού κύκλου παραγωγής [10].

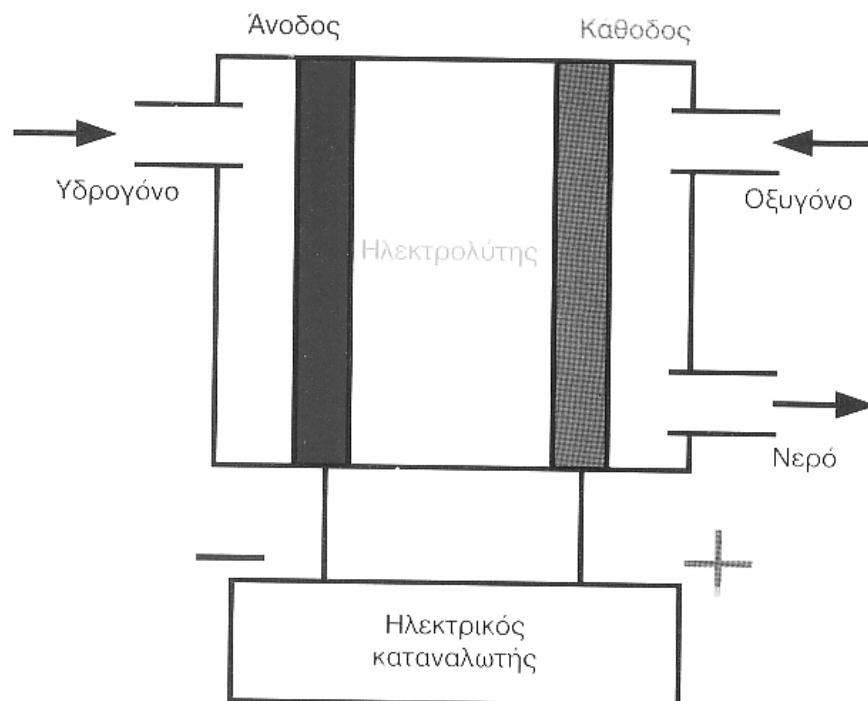
Πίνακας 5.4. Σύγκριση προηγμένων τεχνολογιών άνθρακα [10].

Τεχνολογία	PFC+Καθαρισμός καυσαερίων	PFBC	IGCC
Απαιτούμενη έκταση Εγκατάστασης (m ²)	9000	5700	28000
Καθαρός βαθμός απόδοσης %	38	45	45
Κόστος Κατασκευής	100	104	117
Διάρκεια Κατασκευής (μήνες)	45	42	48
Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης	100	130	155
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας	100	108	116

Ε) «Στοιχεία - κελιά καυσίμου» (Fuel cells)

Πρόκειται για πολύ ενδιαφέρουσα τεχνολογία, η οποία όμως προς το παρόν βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο.

Με την βοήθεια των στοιχείων καυσίμου η χημική ενέργεια του άνθρακα μετατρέπεται κατευθείαν σε ηλεκτρική ενέργεια. Στα στοιχεία καυσίμου λαμβάνει χώρα η αντίστροφη αντίδραση της ηλεκτρόλυσης, δηλαδή υδρογόνο και οξυγόνο σχηματίζουν νερό, ενώ το 90% της ελεύθερης ενθαλπίας που περιέχεται στα αντιδρώντα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στο παρακάτω σχήμα 5.7. παρουσιάζεται απλοποιημένα η τεχνική των στοιχείων καυσίμου.



Σχήμα 5.7. Σχηματική παράσταση ενός στοιχείου καυσίμου [7].

Σε εμπορική κλίμακα κατασκευάζονται σήμερα δύο τύποι κελιών, της Ιαπωνικής Fuji (50KW) και της ONSI, ΗΠΑ (200KW). Η μεγαλύτερη εγκατάσταση λειτουργεί στην Ιαπωνία.

5.3.2. Ιδιαιτερότητες των ελληνικών λιγνιτών

Η χρήση μίας νέας τεχνολογίας δεν αποτελεί απλώς θέμα αρχών λειτουργίας, αλλά απαιτεί την προσαρμογή της τεχνολογίας στις ειδικές συνθήκες και παραμέτρους του καυσίμου.

Οι ελληνικοί λιγνίτες είναι ενεργειακά χαμηλής ποιότητας (1100-1300 Kca1/kg), με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (40-60%) και τέφρα (30-45% επί ξηρού). Η περιεκτικότητα σε θείο κυμαίνεται από 0,5 έως 1%, ενώ σε μερικά κοιτάσματα υπερβαίνει το 1% (επί ξηρού).

Ο τρόπος επίδρασης των χαρακτηριστικών του ελληνικού λιγνίτη κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω:

Υγρασία: Η υψηλή επιφανειακή υγρασία του λιγνίτη επιδρά αρνητικά στην απόδοση των μύλων άλεσης καθώς και στην σταθερότητα της φλόγας. Η δεσμευμένη υγρασία παρεμποδίζει την εξαέρωση του λιγνίτη με συνέπεια την καθυστέρηση της ανάφλεξης και καύσης του. Η μετατροπή της υγρασίας σε ατμό αυξάνει τον όγκο των απαερίων μειώνοντας παράλληλα το θερμοκρασιακό τους επίπεδο. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας, αυξημένος όγκος των διακινούμενων απαερίων και άρα υψηλότερο κόστος κατασκευής.

Τέφρα: Το υψηλό ποσοστό τέφρας μειώνει την ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας, απαιτεί μεγαλύτερη περίσσεια αέρα για να αποφευχθεί η εμφάνιση τοπικών αναγωγικών συνθηκών, ενώ σημαντικό πρόβλημα ανακύπτει με την διαχείριση και

απόθεση της τέφρας των σταθμών καύσης του λιγνίτη λόγω των αυξημένων ποσοτήτων.

Θερμογόνος δύναμη: Η χαμηλή θερμογόνος δύναμη των λιγνιτών απαιτεί την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων του, με συνέπεια το μεγάλο μέγεθος των λεβήτων και του βοηθητικού εξοπλισμού των σταθμών καύσης, δηλαδή αυξημένο κόστος της πάγιας επένδυσης.

Τα παραπάνω προβλήματα ή μειονεκτήματα του λιγνίτη αντισταθμίζονται από το γεγονός ότι είναι εγχώριο καύσιμο, φθινό και με προβλέψιμη τιμή η οποία εξαρτάται κυρίως από το κόστος εξόρυξης. Υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες σε κοιτάσματα τα οποία επιδέχονται επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Πριν επομένως στραφούμε σε νέες τεχνολογίες καύσης, με αμφισβητούμενη ακόμη την τεχνολογική τους ωριμότητα (ιδιαίτερα όταν το καύσιμο είναι ελληνικοί λιγνίτες), είναι σκόπιμο να εξετασθεί η δυνατότητα αύξησης του βαθμού απόδοσης των εν ενεργεία μονάδων.

5.3.3. Συμπεράσματα

Με βάση το χρονικό ορίζοντα τους διακρίνουμε δύο ειδών παρεμβάσεις στην κατεύθυνση της καθαρότερης και αποδοτικότερης καύσης των ελληνικών λιγνιτών:

-βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις στην υπάρχουσα τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

-μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις που μπορούν να σημάνουν τη στροφή σε νέες τεχνολογίες καύσης των λιγνιτών.

A) Βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις

Υπάρχουν σοβαρές δυνατότητες βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των συμβατικών σταθμών, με αξιολογότερη την αύξηση της ποιότητας του παραγόμενου ατμού.

Η παρακολούθηση της τεχνολογικής εξέλιξης των ατμοπαραγωγών υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών πρέπει να τύχει ιδιαίτερης προσοχής.

B) Μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις

Οι νέες τεχνολογίες άνθρακα απαιτούν προς το παρόν υψηλότερο κόστος επένδυσης συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες, προσφέρουν όμως αυξημένο βαθμό απόδοσης και η οικολογική συμπεριφορά τους είναι σημαντικά βελτιωμένη.

Κάθε νέα πιλοτική ή επιδεικτική τεχνολογία είναι προσαρμοσμένη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καυσίμου, για το οποίο έχει σχεδιασθεί. Ο ελληνικός λιγνίτης έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τους λιθάνθρακες, αλλά ως ένα βαθμό και από τους λιγνίτες της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης με συνέπεια την αδυναμία άμεσης μεταφοράς των εμπειριών που αποκτώνται σε πιλοτικές μονάδες της Ευρώπης (π.χ. Puertolano), στους ελληνικούς λιγνίτες. Η ανάπτυξη επομένως πιλοτικών και επιδεικτικών μονάδων νέας τεχνολογίας με καύσιμο ελληνικούς λιγνίτες είναι επιβεβλημένη. Προς την κατεύθυνση αυτή είναι δυνατόν να φανεί πολύ χρήσιμη η έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά συνεργασία της χώρας μας με τις υπόλοιπες βαλκανικές χώρες, των οποίων οι λιγνίτες.

Η καύση σε ανακυκλούμενη ρευστοστερεά κλίνη (CFBC) ενδείκνυται σαν η πιο άμεσα εφαρμόσιμη τεχνολογία στον ελληνικό λιγνίτη. Η μετατροπή μιας υπέργηρης συμβατικής μονάδας της ΔΕΗ σε CFBC είναι σκόπιμο να εξετασθεί σοβαρά.

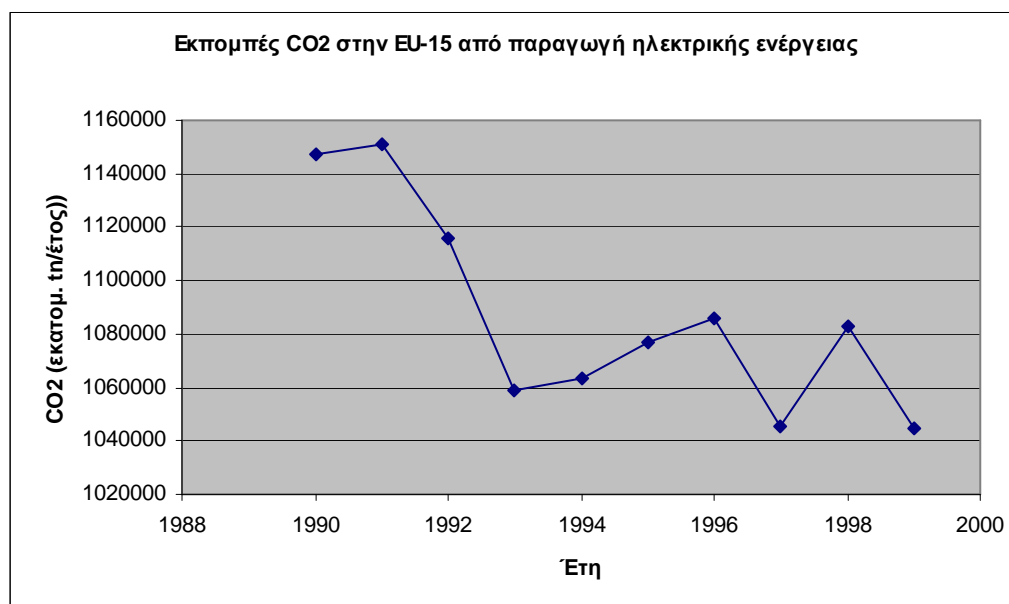
Η καύση σε ρευστοστερεά κλίνη υπό πίεση (PFBC) και η τεχνολογία εξαερίωσης - καύσης σε συνδυασμένο κύκλο απαιτούν καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία (έως 20%) και με σταθερά χαρακτηριστικά τέφρας. Η εφαρμογή επομένως βελτιωμένων συστημάτων ξήρανσης και ομογενοποίησης του λιγνίτη αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση προκειμένου οι καθαρές τεχνολογίες άνθρακα να γίνουν συμβατές με τον εγχώριο λιγνίτη και να εισαχθούν αξιόπιστα και οικονομικά στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα.

5.4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ Σ.Π.Η.Ε. ΣΤΗΝ Ε.Ε. ΤΑ ΕΤΗ 1990-1999

Ένα σημαντικό ποσοστό των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων στις ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης προέρχεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των σημαντικότερων αέριων ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 15 τη χρονική περίοδο 1990-1999 [11].

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO₂)

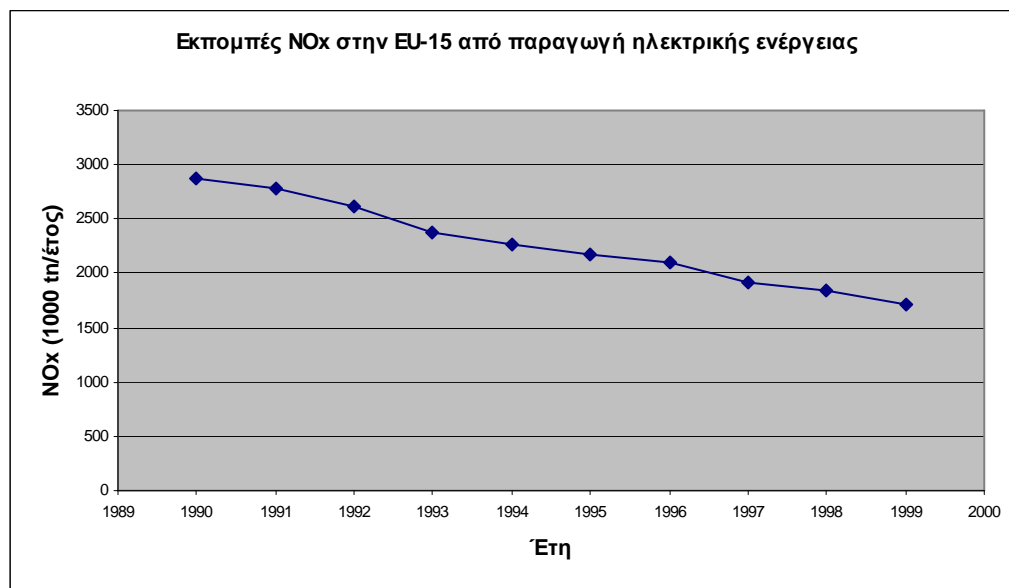
Το 30% περίπου του συνολικά εκπεμπόμενου CO₂ προέρχεται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το διάγραμμα (σχήμα 5.8) το ποσό της εκπομπής CO₂ παρουσιάζει μείωση κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας με κάποιες διακυμάνσεις ξεκινώντας το 1990 από 1.147.030 εκατ. tn / έτος (υψηλότερη τιμή) και καταλήγοντας το 1999 στα 1.044.485 εκατ. tn/έτος, που είναι η χαμηλότερη τιμή της δεκαετίας, παρουσιάζοντας μια μείωση κοντά στο 10%.



Σχήμα 5.8. Γραφική παράσταση της εκπομπής CO₂ από Σ.Π.Η.Ε. τα έτη 1990-1999.

ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x)

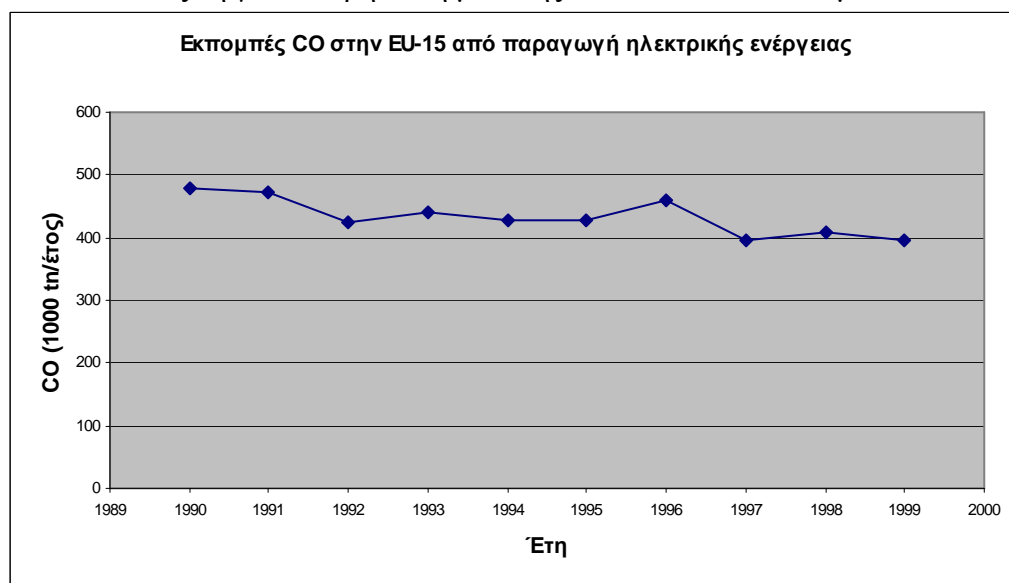
Η εκπομπή NO_x από τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει το 20% των συνολικών εκπομπών τους. Παρατηρείται μια σημαντική μείωση των εκπομπών με την πάροδο των ετών της τάξεως του 40%. Η μείωση αυτή είναι ανάλογη της συνολικής μείωσης στις εκπομπές NO_x.



Σχήμα 5.9. Γραφική παράσταση της εκπομπής NO_x από Σ.Π.Η.Ε. τα έτη 1990-1999.

ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

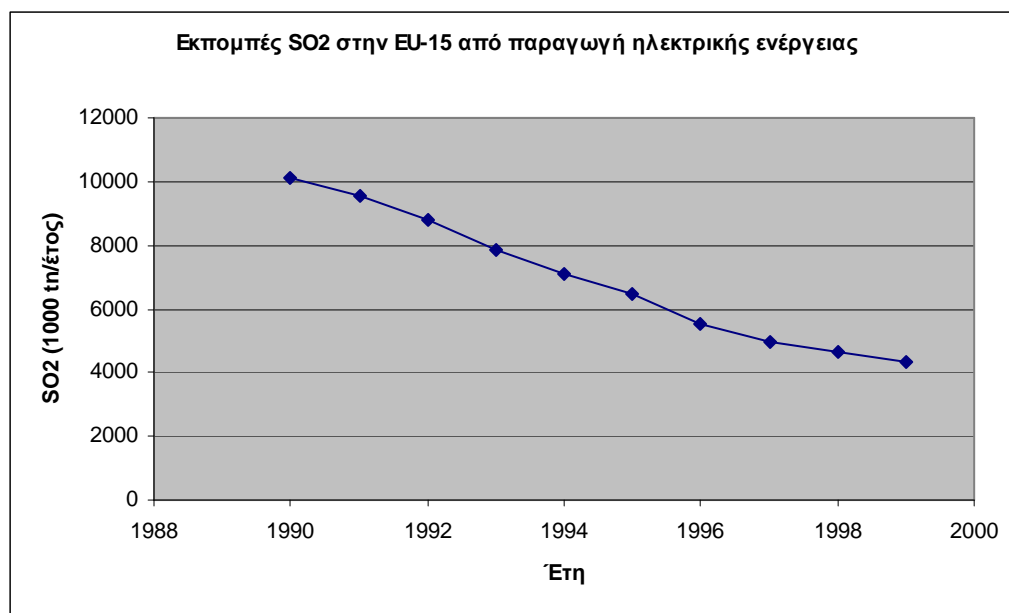
Σύμφωνα με τα στοιχεία του European Environment Agency οι Σ.Π.Η.Ε. είναι υπεύθυνοι για ένα ελάχιστο ποσό εκπομπής CO (γύρω στο 1% επί του συνόλου). Οι εκπομπές CO παρουσιάζουν μείωση γύρω στο 18% από το 1990 έως το 1999 ακολουθώντας τη γενικότερη τάση μείωσης των συνολικών εκπομπών CO.



Σχήμα 5.10. Γραφική παράσταση της εκπομπής CO από Σ.Π.Η.Ε. τα έτη 1990-1999.

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO₂)

Οι εκπομπές SO₂ προέρχονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους, γύρω στα 2/3 επί του συνόλου, από διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό κάνει, ακόμη περισσότερο, αξιοπρόσεκτα τα στοιχεία του σχήματος 5.11. οι εκπομπές SO₂ παρουσιάζουν μία πολύ μεγάλη μείωση που πλησιάζει το 57%. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός, ότι το ποσοστό της συνολικής μείωσης των εκπομπών αφορά και αναφέρεται σχεδόν εξολοκλήρου στη μείωση που προέρχεται από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 5.11. Γραφική παράσταση της εκπομπής SO₂ από Σ.Π.Η.Ε. τα έτη 1990-1999.

5.5. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΗΣ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ (Λ.Κ.Π.-Α.)

Σ' αυτό το κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των μετρήσεων εκπομπών ορισμένων ρύπων στον θερμικό σταθμό ΑΗΣ Λ.Κ.Π.-Α. της Δ.Ε.Η.

Ο σταθμός είναι εγκαταστημένος στο νομό Κοζάνης (από τους παλαιότερους της Επιχείρησης) και αποτελείται από δύο μονάδες συνολικής ισχύος 43 MW. Οι μετρήσεις έγιναν από τα αρμόδια όργανα της Δ.Ε.Η. και αφορούν το χρονικό διάστημα 1998-2002 [12].

Οι εκπεμπόμενοι ρύποι που εξετάζονται είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM-10), SO₂, NO_x και CO, και οι μετρήσεις ανήκουν στην κατηγορία των ασυνεχών και όχι μηνιαίων.

Λόγω της ασυνέχειας των μετρήσεων τα αποτελέσματα μπορούν να δώσουν μόνο προσεγγιστικά μια εκτίμηση της εκπεμπόμενης ρύπανσης.

Τα δεδομένα των εκπεμπόμενων ρύπων παρουσιάζονται υπό τη μορφή των μέσων όρων (Μ.Ο.) των μετρήσεων τους και για τις δύο μονάδες. Αρχικά υπολογίστικαν ο Μ.Ο. ανά έτος και ανά μονάδα και στη συνέχεια ο Μ.Ο. ανά έτος στο σταθμό.

Ο υπολογισμός της συνολικής εκπομπής των αερίων ρύπων σε μονάδες μέτρησης τόνους ανά έτος (tn/y) υπολογίστηκε ως το γινόμενο της ωριαίας παροχής των καυσαερίων επί το μέσο όρο της ετήσιας συγκέντρωσης του εκάστοτε ρύπου. Σαν ωριαία εκπομπή καυσαερίων από τις καμινάδες των μονάδων I και II σε κανονικές

συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (25°C και 760 mm Hg) ελήφθη ο μέσος όρος των τιμών από τις ετήσιες εκθέσεις της ΔΕΗ [17], ο οποίος ήταν ίσος με 120.000 Nm³/h. Η μετατροπή των μονάδων ppm των αερίων ρύπων (SO₂, NO_x, CO) σε μg/m³ έγινε σύμφωνα με τον τύπο: 1 ppm αερίου A= 40,9 x Μοριακό Βάρος του αερίου A σε μg/m³.

Αναλυτικά οι μετρήσεις παραθέτονται στο Παράρτημα Α.

5.5.1. Αιωρούμενα σωματίδια (PM-10)

Οι μέσοι όροι συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων από τις μετρήσεις των καυσαερίων στα ηλεκτρόφιλτρα (Η/Φ) των μονάδων του σταθμού για κάθε έτος παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5 και το σχήμα 5.12.

Πίνακας 5.5. Μέσοι όροι εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων τα έτη 1998-2002 σε mg/m³.

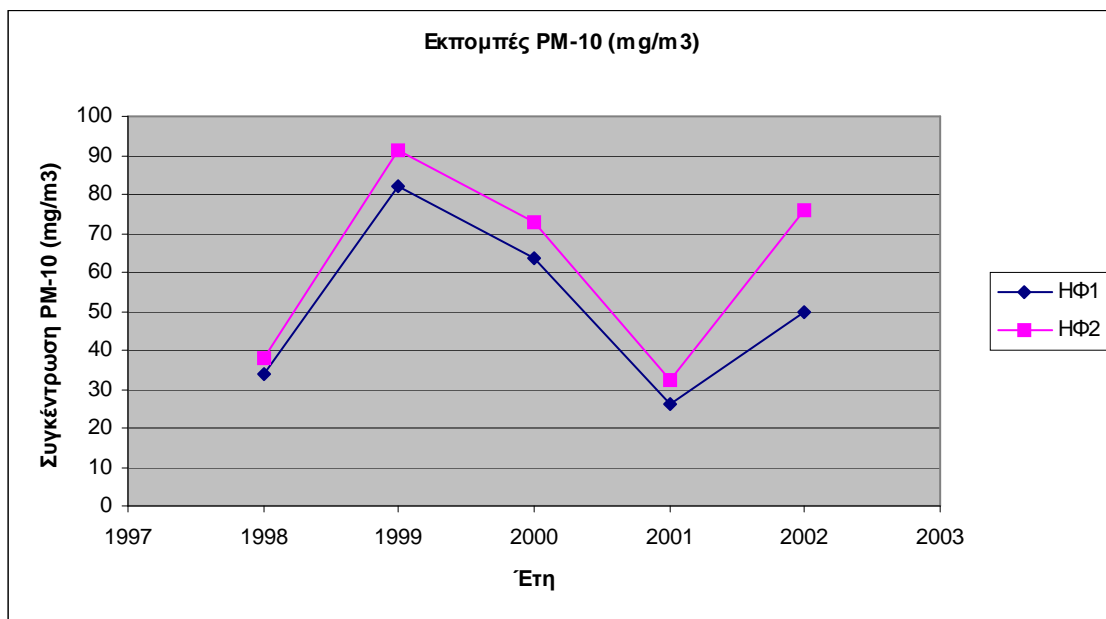
PM-10 (mg/m ³)					
	1998	1999	2000	2001	2002
Η/Φ1	34	82	64	26	50
Η/Φ2	38	91	73	32	76
Μ.Ο.	36	86.5	18.5	29	63

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των Μ.Ο. δείχνουν, ότι τα αιωρούμενα σωματίδια κυμαίνονται γενικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις και δεν ξεπερνούν το ανώτατο όριο εκπομπής που είναι τα 100 mg/m³.

Παρόλα αυτά, αν εξεταστούν πιο λεπτομερειακά οι τιμές διακρίνονται αρκετές υπερβάσεις (βλέπε Παράρτημα Α).

Έτσι αναλυτικότερα κατά το έτος 1998 μετρήθηκαν υψηλότερες τιμές της ανώτατης επιτρεπτής οριακής τιμής τέσσερις φορές. Το 1999 οι υπερβάσεις ήταν πέντε και το 2000 δύο. Το 2001 παρατηρείται μία υπέρβαση ενώ το 2002 καμία, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στο ότι το 2002 ελήφθησαν μόνο δύο μετρήσεις..

Ορισμένες πολύ υψηλές τιμές, ειδικότερα για το έτος 1999, οφείλονται στο ότι κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων μετρήσεων τα ηλεκτρόφιλτρα των μονάδων ήταν εκτός λειτουργίας. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την αναγκαιότητα της χρήση των ηλεκτρόφιλτρων για τον καθαρισμό των εκπομπών. Για το έτος 2002 το ελάχιστο πλήθος των μετρήσεων δεν μπορεί να αποτελέσει μία ενδεικτική εικόνα για τις εκπομπές του έτους αυτού.



Σχήμα 5.12. Γραφική παράσταση των Μ.Ο. των συγκεντρώσεων εκπομπών PM-10.

5.5.2. Διοξείδιο του Θείου (SO₂)

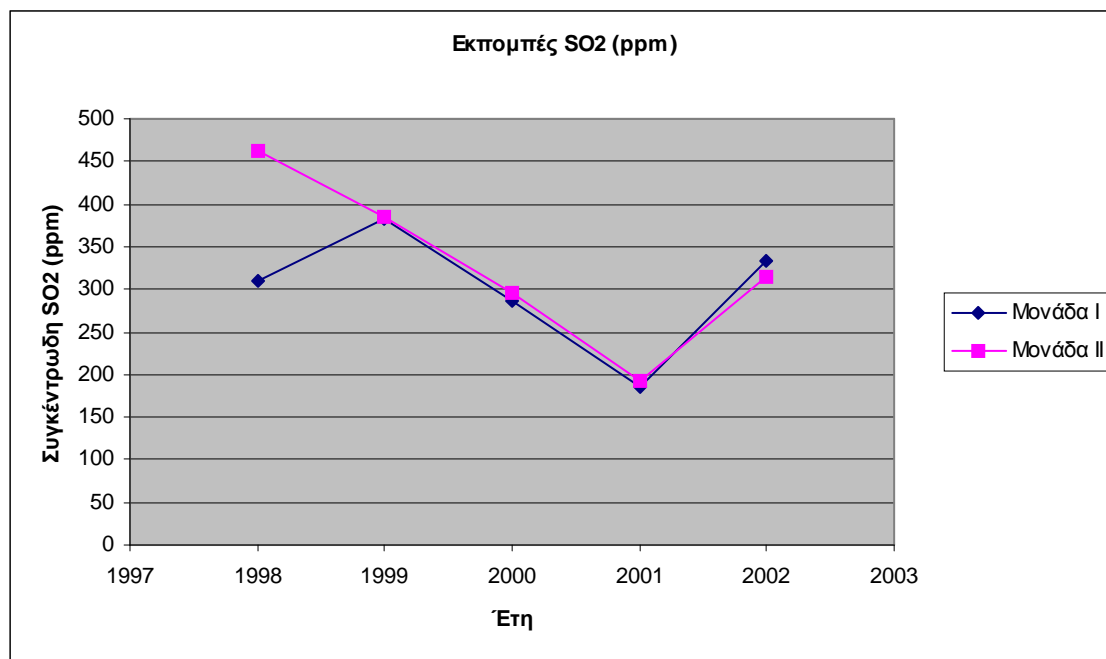
Οι μέσοι όροι συγκεντρώσεων SO₂ από τις μετρήσεις στις μονάδες του σταθμού για κάθε έτος έχουν υπολογιστεί όπως έχει προαναφερθεί και παραθέτονται στον πίνακα 5.6 και το σχήμα 5.13.

Πίνακας 6.2. Μέσοι όροι εκπομπής SO₂ τα έτη 1998-2002 σε ppm.

	SO ₂ (ppm)				
	1998	1999	2000	2001	2002
ΜΟΝΑΔΑ Ι	310	382	286	186	335
ΜΟΝΑΔΑ ΙΙ	462	385	295	193	315
Μ.Ο.	386	383.5	290.5	189.5	325

Η συνολική ετήσια εκπομπή SO₂ ανέρχεται σε $1,063 \times 10^3$ tn/y για το 1998 (σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν στα εισαγωγικά του υποκεφαλαίου), ποσό που αποτελεί το 82% του ανώτατου επιτρεπτού ορίου (1300 tn/έτος). Το 1999 η εκπομπή ανήλθε σε $1,055 \times 10^3$ tn/y (ποσοστό 81%) ενώ το 2000 μειώθηκε σε $0,8 \times 10^3$ tn/y (ποσοστό 62%). Το 2001 παρουσιάζεται η μικρότερη τιμή, που ήταν $0,52 \times 10^3$ tn/y (40%) και τέλος το 2002 η εκπομπή SO₂ αυξάνεται πάλι σε $0,85 \times 10^3$ tn/y (το 77% του ανώτατου επιτρεπτού ορίου).

Ο σταθμός δεν διαθέτει σύστημα αποθείωσης, κάτι που θα μείωνε αισθητά τις εκπομπές SO₂ αλλά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο λιγνίτης που χρησιμοποιείται έχει φυσιολογική περιεκτικότητα σε θείο. Οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης παρουσιάζονται το 1998 στην Μονάδα ΙΙ ενώ τα επόμενα έτη υπάρχει μια μείωση με χαμηλότερες τιμές αυτές του έτους 2001 και για τις δύο μονάδες.



Σχήμα 5.13. Γραφική παράσταση των Μ.Ο. των συγκεντρώσεων των εκπομπών SO₂.

5.5.3. Οξείδια του αζώτου (NO_x)

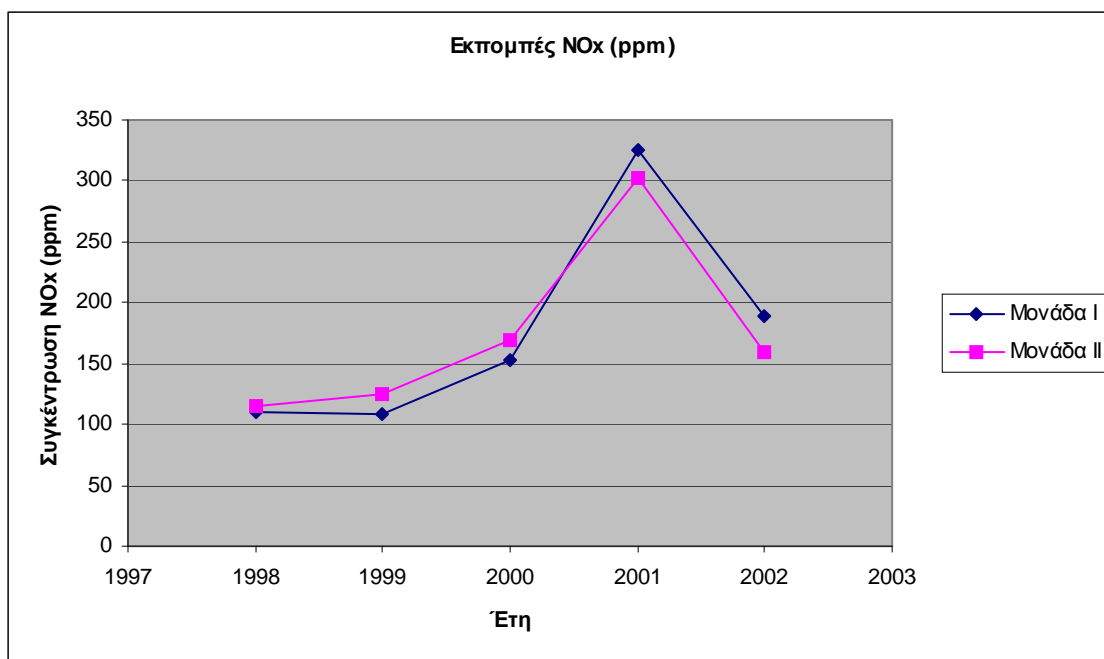
Οι μέσοι όροι συγκεντρώσεων NO_x από τις μετρήσεις στις μονάδες του σταθμού για κάθε έτος παραθέτονται στον πίνακα 5.7 και το σχήμα 5.14.

Πίνακας 5.7. Μέσοι όροι εκπομπής NO_x τα έτη 1998-2002 σε ppm.

	NO _x (ppm)				
	1998	1999	2000	2001	2002
ΜΟΝΑΔΑ I	111	108	153	325	190
ΜΟΝΑΔΑ II	116	126	170	302	160
Μ.Ο.	113.5	117	161.5	313.5	175

Στον υπολογισμό της συνολικής εκπομπής των NO_x ελήφθη σαν Μοριακό Βάρος αυτό του NO λόγω της αυξημένης παραγωγής του στις υψηλές θερμοκρασίες και λόγω έλλειψης αναλυτικών δεδομένων αναλογίας NO:NO₂ στα στοιχεία των εκθέσεων της ΔΕΗ.

Η συνολική ετήσια εκπομπή NO_x για το έτος 1998 ανήλθε σε 147,2 tn (14,7% επί του ανώτατου επιτρεπτού ορίου που είναι 1000 tn/έτος). Το 1999 οι εκπομπές έφτασαν τους 151,4 tn (ποσοστό 15,1%) και το 2000 τους 209,1 tn (20,9%). Το 2001 παρουσιάζεται μια μεγάλη αύξηση των εκπομπών NO_x, που έφτασαν τους 405,7 tn (ποσοστό 40,5%), ενώ τέλος, το 2002 οι εκπομπές μειώθηκαν στους 226 tn (ποσοστό 22,6%).



Σχήμα 5.14. Γραφική παράσταση των Μ.Ο. των συγκεντρώσεων των εκπομπών NO_x.

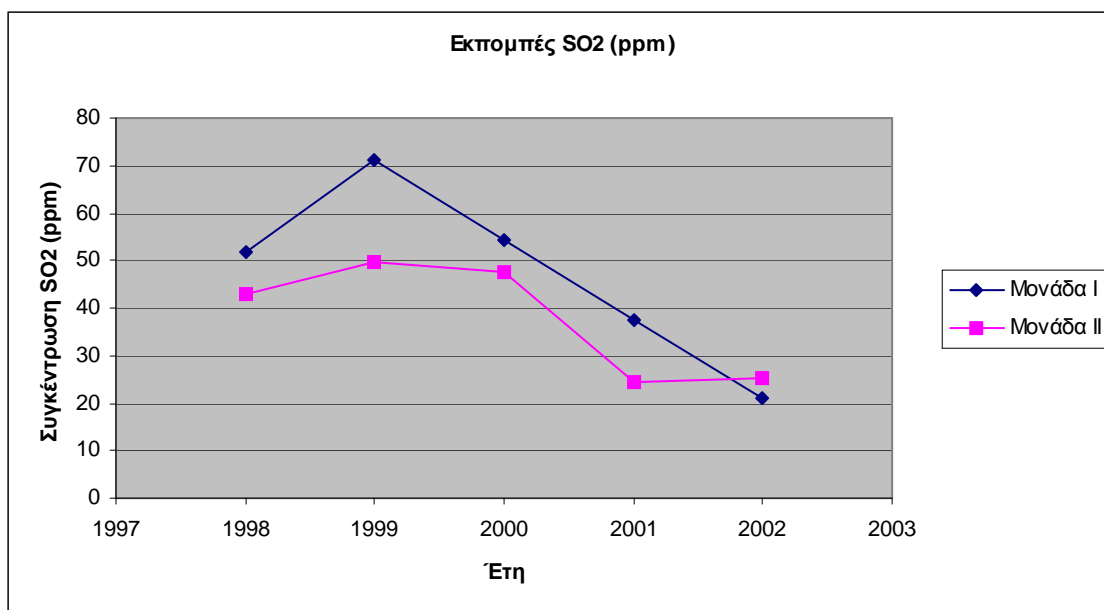
5.5.4. Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

Οι μέσοι όροι συγκεντρώσεων CO από τις μετρήσεις στις μονάδες του σταθμού για κάθε έτος παραθέτονται στον πίνακα 5.8 και το σχήμα 5.15.

Πίνακας 5.8. Μέσοι όροι εκπομπής CO τα έτη 1998-2002 σε ppm.

CO (ppm)					
	1998	1999	2000	2001	2002
ΜΟΝΑΔΑ I	52	71	54	38	21
ΜΟΝΑΔΑ II	43	50	48	26	25
Μ.Ο.	47.5	60.5	51	32	23

Η συνολική ετήσια εκπομπή CO για το έτος 1998 ανήλθε σε 57,2 tn (57,2% επί του ανώτατου επιτρεπτού ορίου που είναι 100 tn/έτος). Τα 1999 οι εκπομπές ήταν οι μέγιστες της πενταετίας και έφτασαν τους 72,8 tn/έτος (ποσοστό 72,8%). Το 2000 οι εκπομπές έφτασαν τους 61,4 tn (ποσοστό 61,4%) και το 2001 τους 38,4 tn (38,4%). Το 2002 οι εκπομπές μειώθηκαν ακόμα παραπάνω φτάνοντας τους 27,6 tn (ποσοστό 27,6%, που είναι το χαμηλότερο της πενταετίας).



Σχήμα 5.15. Γραφική παράσταση των Μ.Ο. των συγκεντρώσεων των εκπομπών CO.

5.5.5. Συμπεράσματα-σχόλια

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν, ότι οι παραπάνω ρύποι παρουσιάζουν αυξομειώσεις στη διάρκεια των ετών που εξετάστηκαν χωρίς όμως οι Μ.Ο.σε καμία περίπτωση να ξεπερνούν τα ανώτατα όρια εκπομπών. Οι αυξομειώσεις αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο σε στοιχεία λειτουργίας του σταθμού όπως η ηλεκτρική ενέργεια που παρήγαγε τα αντίστοιχα έτη, η κατανάλωση λιγνίτη και η ποιότητα του. Έτσι, μία αντιπαράθεση αυτών των στοιχείων με τις εκπομπές ρύπων θα μπορούσε να δείξει τις πραγματικές αιτίες των αυξομειώσεων[12]. Ένας άλλος παράγοντας θα μπορούσε να είναι τα ελλιπή και ασυνεχή δεδομένα των μετρήσεων των ρύπων (Παράρτημα Α).

Κανένας από τους μετρηθέντες, εξεταζόμενους αέριους ρύπους δεν αγγίζει τα ανώτατα επιτρεπτά όρια και η ετήσια εκπομπή τους κυμαίνεται από 18% έως 82% του ανώτατου ορίου εκπομπής. Αντίθετα παρατηρήθηκε ότι οι σωματιδιακοί ρύποι PM-10 ξεπερνάνε το ανώτατο επιτρεπτό όριο στην περίπτωση που τα Η/Φ βρίσκονται εκτός λειτουργίας.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν ώστε οι εκπομπές αυτές να μειωθούν ακόμη περισσότερο.

Η τεχνολογική αναβάθμιση των ηλεκτροφίλων θα αύξανε το βαθμό απόδοσης τους, κάτι που θα οδηγούσε τις εκπομπές PM-10 σε περαιτέρω μείωση. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σωστή συντήρηση των φίλτρων αυτών προς αποφυγή βλαβών που τα θέτουν εκτός λειτουργίας ή μειώνουν το βαθμό απόδοσής τους.

Η εγκατάσταση συστήματος αποθείωσης στο σταθμό, όπως προαναφέρθηκε, θα εκμηδένιζε τις εκπομπές SO₂.

Το σημαντικότερο μέτρο, όμως, για τις περαιτέρω μειώσεις των εκπομπών είναι η λεπτομερέστερη ποιοτική ανάλυση του καυσίμου (τοπικός λιγνίτης), και η θέσπιση ορίων για τις τιμές των επιβλαβών ουσιών που θα περιέχει ώστε να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν καθαρότερο καύσιμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1.ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάπτυξη και εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που υποκαθιστούν τις καθιερωμένες συμβατικές ενεργειακές πηγές (ορυκτά καύσιμα), πολλές από τις οποίες εξαντλούνται ταχύτατα, αποτελεί βασικό στοιχείο της ενεργειακής πολιτικής των τεχνολογικά ανεπτυγμένων χωρών.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα ιδιαίτερα προικισμένη όσον αφορά τις ΑΠΕ, οι οποίες περιλαμβάνουν την ηλιακή και αιολική ενέργεια, την υδάτινη ενέργεια, τόσο στην ξηρά (μικρά υδροηλεκτρικά) όσο και στη θάλασσα (ενέργεια των κυμάτων), τη βιομάζα αλλά και τη γεωθερμία. Η χώρα μας απολαμβάνει υψηλή ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2.700 ώρες το χρόνο. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο κυμαίνεται από 5.000 έως 6.100 MJ/m² ανά έτος. Αρκετές επίσης περιοχές της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας έχουν σταθερούς και δυνατούς ανέμους σε συνεχή βάση. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους σε πολλά σημεία της ενδοχώρας, κυρίως στη Δυτική Ελλάδα, υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες που ευνοούν τη δημιουργία μικρών αλλά και μεγάλων φραγμάτων, τα οποία μέσω των υδάτινων ταμιευτήρων που δημιουργούν, επιτρέπουν την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω των υδατοπτώσεων. Παράλληλα η Ελλάδα ως χώρα κυρίως γεωργική, διαθέτει αρκετά αποθέματα βιομάζας κατάλληλα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον είναι προικισμένη και με την ενέργεια του υπεδάφους, τη γεωθερμία, αφού σε πολλές περιοχές της χώρας υπάρχουν εξακριβωμένα πεδία υψηλής αλλά και χαμηλής ενθαλπίας.

Παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι πλούσια σε όλες τις παραπάνω ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εν τούτοις η αξιοποίησή τους παραμένει ακόμα σε εμβρυακό στάδιο, συγκρινόμενη με άλλες χώρες αλλά και με αυτές τις ίδιες τις δυνατότητες της χώρας. Χωρίς υπερβολή, η ανάπτυξη των ΑΠΕ μέσα στα επόμενα χρόνια μπορεί να θεωρηθεί ως η υπ' αριθμόν ένα πρόκληση στον τομέα της ενέργειας τόσο για το κράτος όσο και για τους ιδιώτες.

Η χρήση των ΑΠΕ στη χώρα μας, όπως άλλωστε και στον υπόλοιπο κόσμο, δεν είναι κάτι καινούριο. Έτσι παλαιότερα οι ενεργειακές ανάγκες της χώρας καλύπτονταν κατά κύριο λόγο από τις ΑΠΕ και ιδιαίτερα από την βιομάζα και την αιολική ενέργεια. Σταδιακά όμως η χώρα πέρασε στη χρήση των ορυκτών καυσίμων (λιθάνθρακα και πετρελαίου), με αποτέλεσμα από την πλήρη ενεργειακή αυτάρκεια που επικρατούσε μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, να φτάσει σήμερα σε μεγάλο βαθμό εξάρτησης.

Όπως είναι γνωστό, τα παγκόσμια αποθέματα αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και στερεών καυσίμων θα εξαντληθούν σε μερικές δεκαετίες. Κατά την περίοδο αυτή προβλέπεται ο διπλασιασμός του πληθυσμού της γης, με ταυτόχρονη αύξηση των κατά κεφαλή ενεργειακών καταναλώσεων.

Όριμες τεχνολογίες ΑΠΕ χαρακτηρίζονται εκείνες για τις οποίες έχει διαμορφωθεί κάποια αγορά, έστω και εξειδικευμένη, και έχουν ξεφύγει από το ερευνητικό-πυλοτικό στάδιο. Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες αυτές είναι ήδη ή πλησιάζουν να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες, ιδιαίτερα όταν ληφθεί υπόψη και το εσωτερικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας (περιβαλλοντικό-κοινωνικό). Ως

τέτοιες μπορούν να χαρακτηριστούν τα συστήματα αξιοποίησης της βιομάζας, τα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής, υδροδυναμικής και γεωθερμικής ενέργειας και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Εκτός από τις λεγόμενες ώριμες υπάρχουν και άλλες όχι τόσο εξελιγμένες τεχνολογίες ΑΠΕ (τεχνολογίες για την εκμετάλλευση της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων ή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών ή παλιρροιών).

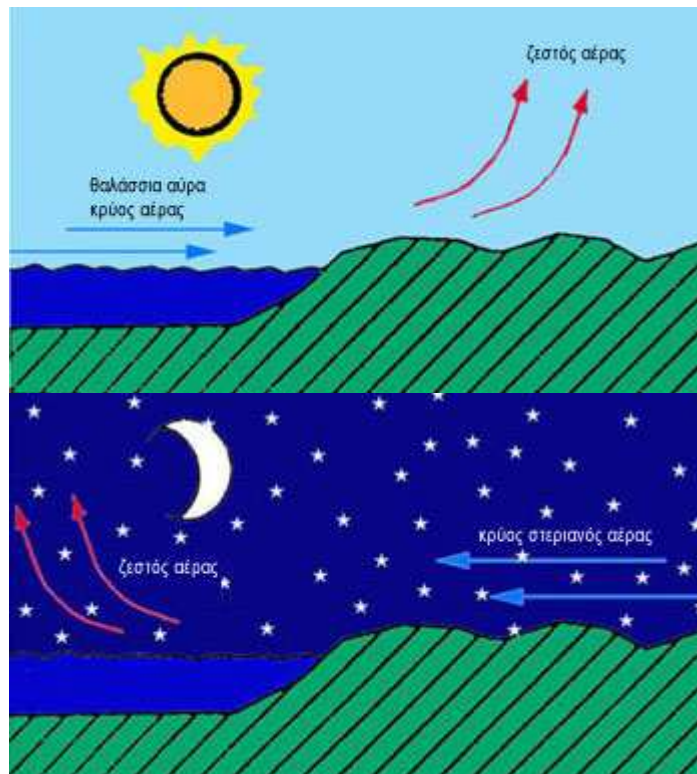
6.2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι μηχανές που κινούνται με την βοήθεια του αέρα παρέχουν μια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας που είναι κατάλληλη και οικονομικά αποδοτική σε μερικές περιπτώσεις. Οι ανεμόμυλοι έχουν χρησιμοποιηθεί για αιώνες για την άντληση νερού και το άλεσμα του σιταριού, και πιο πρόσφατα για να παραγάγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Μικρά συστήματα (από ένα W έως και μερικά kW) χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία απομακρυσμένων περιοχών που δεν είναι συνδεδεμένες με το εθνικό δίκτυο, ενώ μεγάλα συστήματα (από 50kW και πάνω) έχουν ενταχθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο σε αρκετών χωρών (π.χ. 18.000 τέτοια συστήματα στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ έχουν ενταχθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής). Η οικονομική ανάλυση της αιολικής ενέργειας είναι αρκετά πολύπλοκη και όχι εντελώς ξεκάθαρη. Παρόλα αυτά υπάρχει αισιοδοξία από την βιομηχανία, ότι η αιολική ενέργεια θα συνεισφέρει σημαντικά και οικονομικά στην λύση του ενεργειακού προβλήματος σε μερικές περιοχές.

6.2.1 Από πού προέρχεται η αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια έμμεση μορφή ηλιακής ενέργειας. Μεταξύ του 1% με 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Οι άνεμοι προκύπτουν από την άνιση θέρμανση των διαφόρων στρωμάτων στην επιφάνεια της Γης. Ο δροσερός, πυκνός αέρας τείνει να αντικαταστήσει τον θερμότερο, ελαφρύτερο αέρα. Ενώ μερική από την ενέργεια του ήλιου απορροφάται άμεσα από τον αέρα, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας απορροφάται αρχικά από την επιφάνεια της γης και μεταφέρεται έπειτα στον αέρα με τη μεταγωγή θερμότητας. Οι εποχιακές μεταβολές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα προκύπτουν από τις εποχιακές αλλαγές στη σχετική κλίση της γης προς τον ήλιο, οι οποίες επηρεάζουν στη συνέχεια το θερμικό μοτίβο. Οι καθημερινές ή ημερήσιες μεταβολές προκαλούνται από τη διαφορετική θερμοκρασία των τοπικών περιοχών, όπως των παρακείμενων εδαφών και της θάλασσας (σχήμα 6.1).

Αυτή η μετακίνηση της αέριας μάζας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες παγκόσμιας κλίμακας όπως η περιστροφή της γης, οι ήπειροι, οι ωκεανοί και οι οροσειρές και σε μια τοπική κλίμακα από τους λόφους, τη βλάστηση και τις λίμνες. Η ροή αέρα είναι σπάνια ομαλή, με τις περισσότερες περιοχές να βιώνουν αρκετά γρήγορες αλλαγές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα. Η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται επίσης με το ύψος επάνω από το έδαφος λόγω της τριβής, και με την έλξη του εδάφους, της βλάστησης και των κτιρίων [13].



Σχήμα 6.1. Σχηματισμός των ανέμων με την τοπική θέρμανση και ψύξη [13].

6.2.2 Πως λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες

Τα συστήματα ενεργειακής μετατροπής του αέρα (ανεμογεννήτριες) σχεδιάζονται για να μετατρέψουν την ενέργεια της μετακίνησης αέρα (κινητική ενέργεια) σε μηχανική δύναμη (μηχανική ενέργεια), η οποία είναι η κινητήρια δύναμη μιας μηχανής. Στην ανεμογεννήτρια, αυτή η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενώ στους ανεμόμυλους αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για να κάνει την οποιαδήποτε εργασία, όπως την άντληση του νερού, το άλεσμα των σιταριών ή την κίνηση των μηχανημάτων. Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί είτε να αποθηκευτεί σε μπαταρίες, είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Υπάρχουν τρεις βασικοί φυσικοί νόμοι που κυβερνούν το ποσό της διαθέσιμης από τον αέρα ενέργειας.

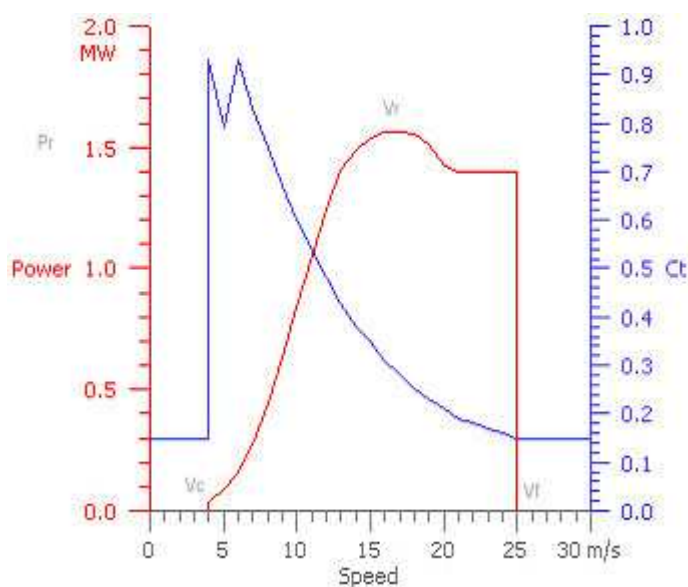
Ο πρώτος νόμος δηλώνει, ότι η δύναμη που παράγεται από τη γεννήτρια είναι ανάλογη προς την κυβική δύναμη της ταχύτητας του αέρα. Παραδείγματος χάριν, εάν διπλασιαστεί η ταχύτητα του αέρα, η διαθέσιμη ισχύ οκταπλασιάζεται, ενώ εάν η ταχύτητα αέρα τριπλασιαστεί, είκοσι επτά φορές περισσότερη ισχύ είναι διαθέσιμη.

Αντίθετα υπάρχει πολύ λίγη ενέργεια στον αέρα, όταν αυτός έχει χαμηλή ταχύτητα. Αυτός ο νόμος σημαίνει, ότι το ακριβές και λεπτομερές τοπικό στοιχείο ταχύτητας αέρα είναι απαραίτητο για να καθορίσει την πιθανή ενεργειακή παραγωγή από μια δεδομένη περιοχή, και οι γεννήτριες πρέπει να σχεδιαστούν για εκείνη την συγκεκριμένη περιοχή. Ο μέσος όρος ταχύτητας αέρα έχει συχνά μόνο περιορισμένη αξία.

Ο δεύτερος νόμος δηλώνει, ότι η διαθέσιμη δύναμη είναι ανάλογη προς το εμβαδόν σάρωσης των πτερυγίων. Αυτή η δύναμη είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μήκους των πτερυγίων. Παραδείγματος χάριν, ο διπλασιασμός του μήκους των

πτερυγίων θα αυξήσει την ισχύ τέσσερις φορές, και ο τριπλασιασμός του μήκους των πτερυγίων θα αυξήσει την ισχύ εννέα φορές.

Ο τρίτος νόμος δηλώνει, ότι στις ανεμογεννήτριες υπάρχει μια μέγιστη θεωρητική αποδοτικότητα της τάξης του 59% (Betz limit). Στην πράξη, οι περισσότερες ανεμογεννήτριες είναι πολύ λιγότερο αποδοτικές από αυτό, και οι διαφορετικοί τύποι σχεδιάζονται για να έχουν τη μέγιστη αποδοτικότητα με τις διαφορετικές ταχύτητες αέρα. Οι καλύτερες ανεμογεννήτριες έχουν αποδοτικότητα μεταξύ του 35 - 40%. Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν μεταξύ ορισμένων ταχυτήτων αέρα. Η χαμηλότερη ταχύτητα, αποκαλούμενη "ταχύτητα περικοπής", είναι γενικά 4 - 5 μέτρα το δευτερόλεπτο, δεδομένου ότι υπάρχει λίγη ενέργεια στον αέρα κάτω από αυτήν την ταχύτητα για να υπερνικήσει τις απώλειες από τα μηχανικά κυρίως μέρη του συστήματος. Η "ταχύτητα αποκοπής" καθορίζεται από τη δυνατότητα της γεννήτριας να αντισταθεί σε υψηλούς ανέμους. Η "εκτιμημένη ταχύτητα" είναι η ταχύτητα αέρα, με την οποία η ανεμογεννήτρια επιτυγχάνει τη μέγιστη παραγωγή της. Επάνω από αυτήν την ταχύτητα μπορεί να έχει τους μηχανισμούς που διατηρούν την παραγωγή σε μια σταθερή αξία καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα (σχήμα6.2).



Σχήμα 6.2. Παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια NEG Micron 1500kW σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα. (Χαρακτηριστική καμπύλη παρμένη από το WAsP, Wind Atlas Analysis and Application Program) [13].

Στο σχήμα 6.2, V_c είναι η ταχύτητα παρεμβάσεων με την οποία ο στρόβιλος αρχίζει να παράγει ενέργεια, V_t είναι η εκτιμημένη ταχύτητα, με την οποία η γεννήτρια φθάνει την εκτιμημένη της δύναμη και V_f είναι η ταχύτητα αποκοπής, η οποία είναι η ταχύτητα αέρα με την οποία η μηχανή διακόπτει την λειτουργία της για να αποφύγει οποιαδήποτε ζημία. Η παράμετρος P_r είναι η εκτιμημένη ενεργειακή παραγωγή της ανεμογεννήτριας. Η παράμετρος C_t είναι ο συντελεστής ενέργειας της ανεμογεννήτριας και αντιπροσωπεύει το πόσο αποτελεσματικά η ανεμογεννήτρια μετατρέπει τον αέρα σε ηλεκτρική ενέργεια.

Αυτές οι καμπύλες χαρακτηρίζουν μια ανεμογεννήτρια τριών πτερυγίων. Η μηχανή ακολουθεί τη μέγιστη διαθέσιμη αιολική ενέργεια έως ότου φθάνει στο όριο της

γεννήτριας, έπειτα ρυθμίζεται για να διατηρήσει μια σταθερή παραγωγή μέχρι να σταματήσει στο όριο της ταχύτητας αποκοπής. Επίσης παρατηρούμε ότι η αποδοτικότητα της γεννήτριας μειώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα. Πρέπει να γνωρίζουμε όμως ότι αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η ανεμογεννήτρια να παράγει όσο το δυνατό περισσότερη ενέργεια καθώς το καύσιμο (ο αέρας) είναι δωρεάν οπότε η απόσβεση της επένδυσής μας είναι ανεξάρτητη της αποδοτικότητας της γεννήτριας, όμως άμεσα εξαρτώμενη του μεγέθους της παραγωγής της. Για αυτό σημαντική είναι η σωστή μελέτη του αιολικού πάρκου και η επιλογή των κατάλληλων ανεμογεννητριών [13].

6.2.3 Η ανεμογεννήτρια

Μία ανεμογεννήτρια (Α/Γ) περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα βασικά μέρη (όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3):

Στροφέας: Τα πτερύγια του στροφέα σχεδιάζονται σύμφωνα με την περιστροφή τους στον αέρα, που οδηγεί τη γεννήτρια στροβίλων. Μερικές φορές χρησιμοποιείται σύστημα γρναζιών για να αυξηθεί η συχνότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Γεννήτρια: Η γεννήτρια παράγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει ικανοποιητικός αέρας για να περιστρέψει τα πτερύγια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στο επόμενο στάδιο (είτε για αποθήκευση, είτε στο σύστημα διανομής, είτε για άμεση χρήση) χρησιμοποιώντας καλωδίωση.

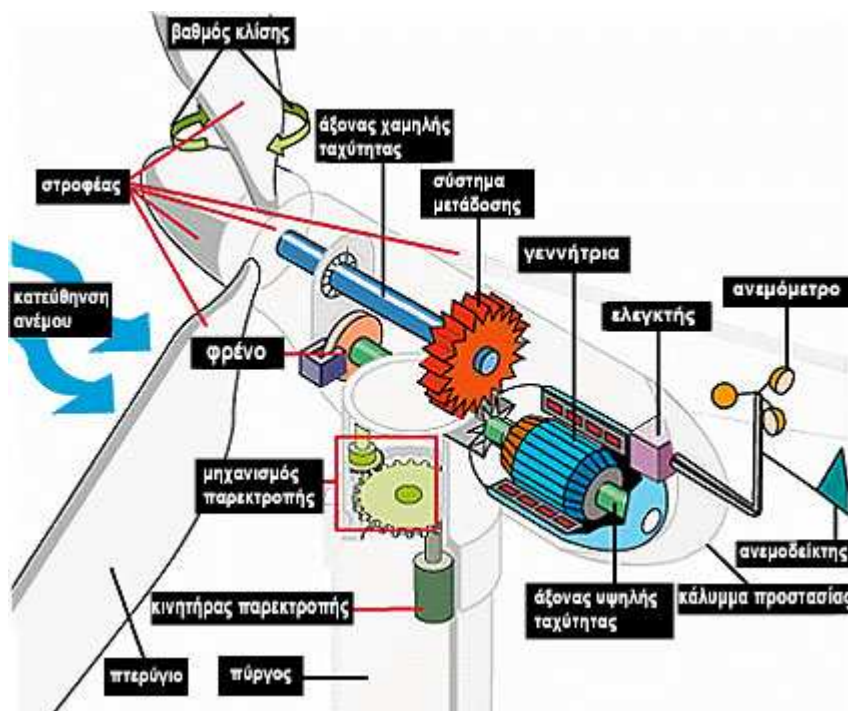
Κατευθυντήριο σύστημα: Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα απαιτούν έναν μηχανισμό που να τις τοποθετεί προς την κατεύθυνση του αέρα. Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως μια ουρά που τις περιστρέφει προς την σωστή κατεύθυνση. Οι μεγάλες μηχανές έχουν συνήθως έναν "σέρβο μηχανισμό" που τις προσανατολίζει στην κατεύθυνση της μέγιστης αιολικής δύναμης.

Σύστημα προστασίας: Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι συνήθως εξοπλισμένες με μηχανισμούς για να αποτρέψουν κάποια ζημία στους υπερβολικά υψηλούς ανέμους. Οι μεγάλες μηχανές μπορούν και έχουν σύνθετες ρυθμίσεις για να διακόψουν την παραγωγή με τις ταχύτητες υψηλού αέρα. Τα μικρότερα συστήματα αλλάζουν τον προσανατολισμό των λεπίδων έτσι ώστε να παρουσιάζουν μια μικρότερη επιφάνεια στον αέρα και με αυτόν τον τρόπο μειώνουν την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων τους, ή χρησιμοποιούν μηχανικά φρένα.

Πύργος: Ο πύργος υψώνει την ανεμογεννήτρια αρκετά παραπάνω από τη δίνη του αέρα κοντά στο έδαφος και συλλαμβάνει τον αέρα ψηλότερα σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Ο σχεδιασμός των πύργων είναι ιδιαίτερα κρίσιμος, καθώς πρέπει να είναι ψηλός, γερός, να επιτρέπει την πρόσβαση στην ανεμογεννήτρια για τη συντήρησή της, και όμως να μην επιβαρύνει το κόστος του συστήματος [13].

6.2.4 Διαχείριση συστημάτων αιολικής ενέργειας

Η μεγαλύτερη πρόκληση για την οικονομική χρήση της αιολικής ενέργειας είναι οι διακυμάνσεις της. Υπάρχουν πολύ λίγες περιοχές στη Γη, όπου ο αέρας είναι αρκετά σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ένα αποθηκευτικό ή εφεδρικό σύστημα είναι πάντα απαραίτητο, σε αυτόνομα συστήματα, για περιόδους άπνοιας ή πνοής ισχυρών ανέμων, όπως επίσης και για την ισοστάθμιση της παραγόμενης ενέργειας με την απαιτούμενη προς κατανάλωση, όταν ο άνεμος δεν είναι αρκετά δυνατός ή η κατανάλωση μεγαλύτερη της προβλεπόμενης.



Σχήμα 6.3. Μέρη μιας ανεμογεννήτριας μεγάλης κλίμακας [13].

Για τα μικρά συστήματα (μέχρι λίγα kW) χρησιμοποιούνται αποθηκευτικά συστήματα παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά. Σε γενικές γραμμές αποτελούνται από μπαταρίες, συνήθως παράλληλα με γεννήτριες συμβατικών καυσίμων. Στα υβριδικά συστήματα παραγωγής, η ανεμογεννήτρια συνδέεται συχνά με μια γεννήτρια και μια σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Για τα μεγάλα συστήματα, το πρόβλημα των καιρικών διακυμάνσεων είναι πιο πολύπλοκο. Μια δυνατότητα είναι να συνδεθούν οι ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου με ένα τοπικό δίκτυο υψηλής τάσης με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα έκθεσης του συστήματος σε άπνοια. Προτάσεις έχουν γίνει και για την σύνδεση ανεμογεννητριών με υδροηλεκτρικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Κατάλληλες περιοχές για οικονομική αποθήκευση απαιτούνται για αυτήν την επιλογή. Η στρατηγική που ακολουθείται πάντως για τα μεγάλα αιολικά συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, είναι η μη χρησιμοποίηση αποθηκευτικών μέσων, όπου οι ανεμογεννήτριες αντικαθιστούν συμβατικά καύσιμα. Μελέτες έχουν δείξει, ότι τα μεγάλα ηλεκτρικά συστήματα μπορούν να απορροφήσουν περίπου 10% από τη συμβολή της αιολικής ενέργειας χωρίς κάποια επίδραση στην διαχείριση του δικτύου, ενώ μεγάλες εταιρίες στοχεύουν στην αύξηση αυτού του ποσοστού στο 70% [13].

6.2.5 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού

Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότερη χρήση μίας ανεμογεννήτριας, πρέπει αυτή να είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους. Αν και ο αέρας μπορεί να φυσήξει συχνότερα από τη δύση, περισσότερη ενέργεια μπορεί να προέλθει από μια διαφορετική κατεύθυνση εάν εκείνοι οι άνεμοι είναι ισχυρότεροι. Είναι πολύ

σημαντικό να ανακαλυφθεί ποιες κατευθύνσεις έχουν τους καλύτερα αξιοποιήσιμους ανέμους.

Η διαπίστωση αυτή γίνεται κατόπιν μελέτης εκτίμησης του αιολικού δυναμικού. Είναι μια διαδικασία χρονοβόρα (12μήνες), όμως απαραίτητη ειδικά στην Ελλάδα καθώς οποιαδήποτε διαδικασία αδειοδότησης απαιτεί την ύπαρξη αυτής της μελέτης. Πέρα από αυτό όμως έχοντας αυτή τη μελέτη ο ίδιος ο επενδυτής μπορεί να αξιολογήσει αποτελεσματικότερα την βιωσιμότητα της επένδυσης που ενδιαφέρεται να πραγματοποιήσει.

Η δύναμη του αέρα μεταβάλεται με το υψόμετρο. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αυξηθεί η ενεργειακή παραγωγή με την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας σε έναν πιο ψηλό πύργο. Επομένως μπορεί να πρέπει να μετρηθούν τα χαρακτηριστικά αέρα σε μεταβλητά ύψη.

Όταν ο αέρας ρέει γύρω από κτίρια ή εκτάσεις με μεγάλες διακυμάνσεις στο ανάγλυφό τους, επιβραδύνεται ή γίνεται τυρβώδης. Μια ανεμογεννήτρια πρέπει να τοποθετηθεί σε μια θέση, όπου η επιρροή των εμποδίων ελαχιστοποιείται.

Η ανεμογεννήτρια επηρεάζεται από την τραχύτητα της περιβάλλουσας έκτασης. Η τραχύτητα αναφέρεται στην έκταση και την πυκνότητα της βλάστησης στο τοπίο. Σε ιδανικές περιπτώσεις, η ανεμογεννήτριες πρέπει να περιβαλλόνται από ομαλή έκταση σε ακτίνα 30 χιλιομέτρων.

Οι παραπάνω παράμετροι αποτελούν αυτούς που επηρεάζουν περισσότερο την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού σε μια περιοχή. Η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία είναι παράμετροι που επίσης επηρεάζουν την δύναμη του ανέμου. Τις περισσότερες φορές όμως δεν είναι απαραίτητες αυτές οι μετρήσεις καθώς οι πληροφορίες αυτές είναι διαθέσιμες στην απαιτούμενη ακρίβεια από γειτονικούς μετεωρολογικούς σταθμούς.

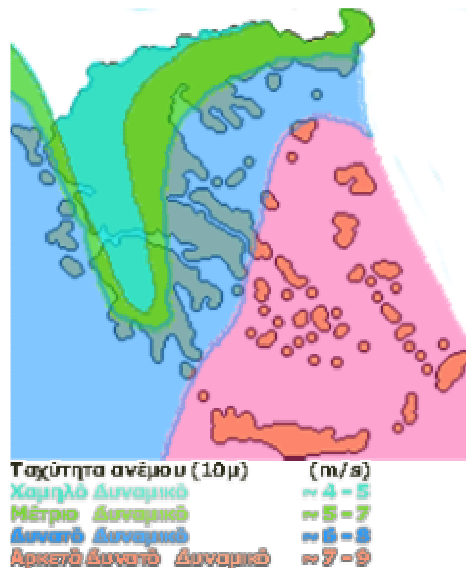
Ο καλύτερος τρόπος να αξιολογηθεί το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό μίας περιοχής είναι με τον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος του αέρα. Η πυκνότητα ισχύος του αέρα μετριέται σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο προσπίπτουσας επιφάνειας στον αέρα. Ο τρόπος αυτός προσδιορίζει πόση ενέργεια είναι διαθέσιμη στην περιοχή για μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια από μία ανεμογεννήτρια.

Η πυκνότητα ισχύος αέρα είναι ταξινομημένη στις κατηγορίες δύναμης αέρα σε μια κλίμακα 1 έως 7. Αυτή η εκτίμηση είναι βασισμένη στη μέτρηση των ταχυτήτων αέρα σε 10 μέτρα και 50 μέτρα πάνω από το έδαφος όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1. Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος αέρα[13].

Κατηγορία δύναμης αέρα	10 μέτρα		50 μέτρα	
	Πυκνότητα ισχύος αέρα (watts/m ²)	Ταχύτητα αέρα (m / s)	Πυκνότητα ισχύος αέρα (watts/m ²)	Ταχύτητα αέρα (m / s)
1	< 100	< 4.4	< 200	< 5.6
2	100 - 150	4.4 – 5.1	200 - 300	5.6 – 6.4
3	150 - 200	5.1 – 5.6	300 - 400	6.4 – 7.0
4	200 - 250	5.6 – 6.0	400 - 500	7.0 – 7.5
5	250 - 300	6.0 – 6.4	500 - 600	7.5 – 8.0
6	300 - 400	6.4 – 7.0	600 - 800	8.0 – 8.8
7	> 400	> 7	> 800	> 8.8

Για την καλύτερη κατανόηση της δυνατότητας ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη το Ινστιτούτο Riso της Δανίας δημιούργησε ένα χάρτη, τον Ευρωπαϊκό Άτλαντα Αιολικού Δυναμικού, που αναδεικνύει τις δυνατότητες ανάπτυξης για κάθε περιοχή. Την Ελλάδα αντιπροσωπεύει το παρακάτω σχήμα 6.4. που δημιουργήθηκε με στοιχεία του Ευρωπαϊκού Άτλαντα [13].



Σχήμα 6.4. Σχηματική παράσταση του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας [13].

6.2.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η κατασκευή και λειτουργία ενός έργου ΑΠΕ δεν επιφέρει αισθητές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή εγκατάστασης. Τρεις είναι, κυρίως, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τοπικής κλίμακας που αναφέρονται (εικάζονται τις περισσότερες φορές) ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης και λειτουργίας αιολικών πάρκων και γενικότερα έργων ΑΠΕ εμπορικής κλίμακας : η οπτική όχληση, η κατασκευαστική επέμβαση / αλλοίωση του χαρακτήρα και της λειτουργίας μιας περιοχής (π.χ. μιας δασικής έκτασης) και τέλος ο θόρυβος. Παρακάτω γίνεται μία παρουσίαση κάθε μιας από τις τρεις αυτές, εν δυνάμει, επιπτώσεις των αιολικών πάρκων.

α) Οπτική όχληση

Καταρχήν είναι σαφές, ότι η αισθητική μιας εγκατάστασης ΑΠΕ αποτελεί καθαρά υποκειμενικό παράγοντα, ο οποίος εξαρτάται, όπως δείχνουν σχετικές μελέτες, όχι τόσο από την ίδια την εικόνα της εγκατάστασης, όσο από τη γενικότερη εικόνα που έχει διαμορφώσει ο παρατηρητής για τη χρήση της (π.χ. ως οικολογική πηγή ενέργειας, ως πηγή τοπικών αναπτυξιακών οφελών, κλπ.).

Ειδικότερα πρέπει να τονιστεί, ότι ένα αιολικό πάρκο δεν εμποδίζει τη θέα. Η αρκετά μεγάλη απόστασή του από κατοικημένες περιοχές (ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση από οικισμό: 500 m), σε συνδυασμό με τις σημαντικές υψομετρικές διαφορές μεταξύ του έργου και των γύρω οικισμών (εάν υπάρχουν), καθώς και η αραή χωροθέτηση των Α/Γ σε απλές σειρές, περιορίζουν στο ελάχιστο την οπτική όχληση των κατοίκων. Παράλληλα, οι περιορισμένες χρήσεις γης στην περιοχή ελαχιστοποιούν

τις ευκαιρίες οπτικής επαφής με την εγκατάσταση από κοντινές αποστάσεις. Μόνο οι τυχόν γεωργοί και κτηνοτρόφοι της περιοχής βλέπουν τις Α/Γ συχνότερα, χωρίς όμως να εμποδίζονται οι δραστηριότητές τους. Τέλος σημειώνεται, ότι τόσο το λευκό χρώμα των περυγίων όσο και η κατασκευή ολόσωμων (σωληνωτών) πύργων στήριξης των Α/Γ συντελούν στην καλύτερη εναρμόνισή τους με τον περιβάλλοντα χώρο.

β) Επίδραση στο χαρακτήρα και τη λειτουργία της περιοχής εγκατάστασης

Και στο θέμα αυτό, θα πρέπει να σημειώσει κανείς την απουσία έγκυρης και συγκροτημένης ενημέρωσης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόσφορο έδαφος για παραπληροφόρηση και υπερβολικές αντιδράσεις: θα «ξυριστούν» βουνά με δασικές εκτάσεις για την κατασκευή αιολικών πάρκων, θα υποβαθμιστεί η τουριστική ανάπτυξη ή η ανάπτυξη δραστηριοτήτων αναψυχής στις αντίστοιχες περιοχές, θα καταστραφεί η χλωρίδα και η πανίδα τους, κ.ο.κ.

Τα αιολικά πάρκα, στη μεγάλη τους πλειοψηφία, εγκαθίστανται σε ορεινές θέσεις με αραιή θαμνώδη βλάστηση, η οποία οφείλεται, ως ένα βαθμό, ακριβώς στις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες (δηλ. στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου). Η παρουσία υψηλής βλάστησης σε μία περιοχή (συστάδες δένδρων και δασώδεις εκτάσεις) δεν προσφέρεται για εκμετάλλευση αιολικού δυναμικού, δεδομένου ότι επιβραδύνει τη ροή του ανέμου στα συνήθη ύψη του ρότορα της Α/Γ, πράγμα που καθιστά τις θέσεις αυτές μη ελκυστικές για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων.

Η συνήθης χρήση γης στις θέσεις εγκατάστασης αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων. Σπανιότερα στις θέσεις αυτές εντοπίζονται ίχνη εγκαταλελειμμένων καλλιεργειών μικρής απόδοσης. Επειδή δεν απαιτείται η περίφραξη της έκτασης εγκατάστασης των Α/Γ, αφού το σύνολο του εξοπλισμού τους είναι απροσπέλαστο και προστατευόμενο, όλες οι υφιστάμενες χρήσεις γης μπορούν να συνεχίσουν να εξασκούνται χωρίς εμπόδια. Εξάλλου είναι χαρακτηριστικό, ότι ένα τυπικό αιολικό πάρκο των 10MW καλύπτει ωφέλιμη επιφάνεια μόνο 2 στρεμμάτων περίπου, αφού κάθε ανεμογεννήτρια απαιτεί για τη θεμελίωσή της μόνο 130-150 τετραγωνικά μέτρα.

Τέλος, όσον αφορά την πανίδα μιάς περιοχής, είναι γνωστό από πλήθος σχετικών μελετών, ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων έχει από πολύ μικρές έως αμελητέες επιπτώσεις στους τοπικούς πληθυσμούς θηλαστικών, ερπετών και πτηνών. Παράλληλα, οι αυστηροί περιορισμοί που έχουν θεσπιστεί τα τελευταία χρόνια για την εγκατάσταση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές (π.χ. ζώνες NATURA) αποτελούν ήδη μία πολύ σημαντική ασπίδα προστασίας των περιοχών αυτών.

γ) Θόρυβος

Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου δεν αυξάνει, σε αισθητό βαθμό, τα επίπεδα θορύβου της εγγύτερης περιοχής. Οι σύγχρονες Α/Γ προκαλούν θόρυβο ύψους 44 περίπου db σε απόσταση 200m στα υπήνεμα της Α/Γ και για ταχύτητα ανέμου 8 m/s. Σημειώνεται ότι για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 8 m/s, ο θόρυβος που παράγεται από τις Α/Γ καλύπτεται από το θόρυβο που παράγεται από το περιβάλλον.

Το συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου που αναφέρθηκε (44 db) αντιστοιχεί σε αυτό μιάς ήσυχης μικρής πόλης, και δεν αποτελεί βέβαια πηγή όχλησης.

Δεδομένης δε της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης των Α/Γ από γειτονικούς οικισμούς (500m), το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, της τάξης των 30- 35 db, που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου ενός ήσυχου καθιστικού ή ψιθύρου, και που καλύπτεται πλήρως από φυσικές και τεχνικές πηγές θορύβου εγγύτερες προς τους οικισμούς.

Επίσης τα αιολικά πάρκα συντελούν αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος μιας περιοχής, αφού περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις εκπομπές επιβλαβών για την υγεία ρυπαντικών ουσιών, που προκαλούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου, αερίου). Έτσι η κατασκευή και λειτουργία αιολικών πάρκων 50 MW στη χώρα μας έχει ως αποτέλεσμα την αποτροπή έκλυσης στην ατμόσφαιρα περίπου 2.300 τόννων το χρόνο διοξειδίου του θείου, 180 τόννων το χρόνο οξειδίων του αζώτου, 120 τόννων το χρόνο αιωρούμενων σωματιδίων και 128.000 τόννων το χρόνο διοξειδίου του άνθρακα (αερίου που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου).

Υπενθυμίζεται ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου θεωρείται πια, σε παγκόσμιο αλλά και σε τοπικό επίπεδο, υπεύθυνο – σε πολύ μεγάλο βαθμό – για τις υπερβολικά αυξημένες θερμοκρασίες, ιδιαίτερα το καλοκαίρι, για την αυξημένη ξηρασία (μείωση της στάθμης των υδροφόρων οριζώντων και των επιφανειακών νερών), αλλά και για την αύξηση της έντασης καιρικών φαινομένων, όπως οι ξαφνικές και καταστρεπτικές πλημμύρες, κ.α. Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έδειξαν, ότι μία σημαντική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και κυρίως με αιολικά πάρκα που βρίσκονται ήδη στο στάδιο σχεδιασμού ή υλοποίησης, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή τουλάχιστον κατά 11%, και επομένως να περιορίσει αντίστοιχα και τις δυσμενείς επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου [13].

6.2.7 Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις

Με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία αιολικών πάρκων στην Ελλάδα (2004), τα έργα αυτά:

1. Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Έτσι π.χ., για μία εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων 50 MW, απαιτούνται :

- 600-900 ανθρωπομήνες απασχόλησης στη φάση κατασκευής τους. Το 30-40 % αυτής της απασχόλησης προέρχεται από το ντόπιο εργατικό δυναμικό.
- 13-16 μόνιμοι εργαζόμενοι στη φάση λειτουργίας τους, οι περισσότεροι από τους οποίους (50-100%) είναι ντόπιοι.

Η συμβολή των έργων αιολικών πάρκων στην απασχόληση, τόσο την τοπική όσο και αυτήν σε εθνικό επίπεδο, γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής / συναρμολόγησης μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως είναι οι πυλώνες των ανεμογεννητριών, οι μετασχηματιστές, οι πίνακες ελέγχου, κ.α. Οι προοπτικές αυτές, οι οποίες έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούνται στην Ελλάδα (εργοστάσιο ΡΟΚΑΣ στην Τρίπολη, εργοστάσιο BIOMEK στο Αλιβέρι), μπορούν να εκτοξεύσουν τη σχετιζόμενη με τις ΑΠΕ απασχόληση, ιδιαίτερα την τοπική, στα ύψη : σύμφωνα με τα έγκυρα και απόλυτα τεκμηριωμένα απολογιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (“Wind Energy : The Facts”, 1999, Τόμος 3, σελ.124), κάθε 50 MW αιολικής ενέργειας που εγκαθίστανται δημιουργούν σήμερα τουλάχιστον 750-950 νέες θέσεις εργασίας, κυρίως στη βιομηχανική παραγωγή του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

2. Η λειτουργία έργων ΑΠΕ προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς δήμους (2% επί του τζίρου τους), αλλά και στην τοπική οικονομία γενικότερα. Έτσι π.χ., μία εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων 50 MW:

- Έχει κόστος κατασκευής 55 εκατ. Ευρώ περίπου (19 δισ. δρχ.), από τα οποία το 15-20% δαπανάται τοπικά, σε εργολαβίες, προμήθειες, μισθούς στη φάση κατασκευής, κλπ.

- Έχει τζίρο, από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει, περίπου 10 εκατ. Ευρώ (3,4 δισ. δρχ.) το χρόνο, από τα οποία τα 200.000 Ευρώ (68 εκατ. δρχ.) το χρόνο (δηλ. το 2%) εισφέρονται δια νόμου ως έσοδο στους τοπικούς δήμους, για όλη τη διάρκεια ζωής των αιολικών πάρκων, δηλ. για τουλάχιστον 20 χρόνια.

- Απαιτεί, για τις ανάγκες λειτουργίας των αιολικών πάρκων, 1 εκατ. Ευρώ (340 εκατ. δρχ.) το χρόνο, από τα οποία το 30-50% αφορά τοπικές δαπάνες (μισθούς τοπικού μόνιμου προσωπικού, τοπικές εργολαβίες συντήρησης και επισκευών, κ.α.).

3. Η κατασκευή έργων αιολικών πάρκων σε μία περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμιστικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργούμενων θέσεων απασχόλησης. Έτσι :

- Κατασκευάζονται ή / και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής στην ευρύτερη περιοχή (οδικό δίκτυο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο).

- Κατασκευάζονται, ως αντισταθμιστικά οφέλη (χωρίς κόστος) για τους τοπικούς δήμους, διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κ.α., ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.

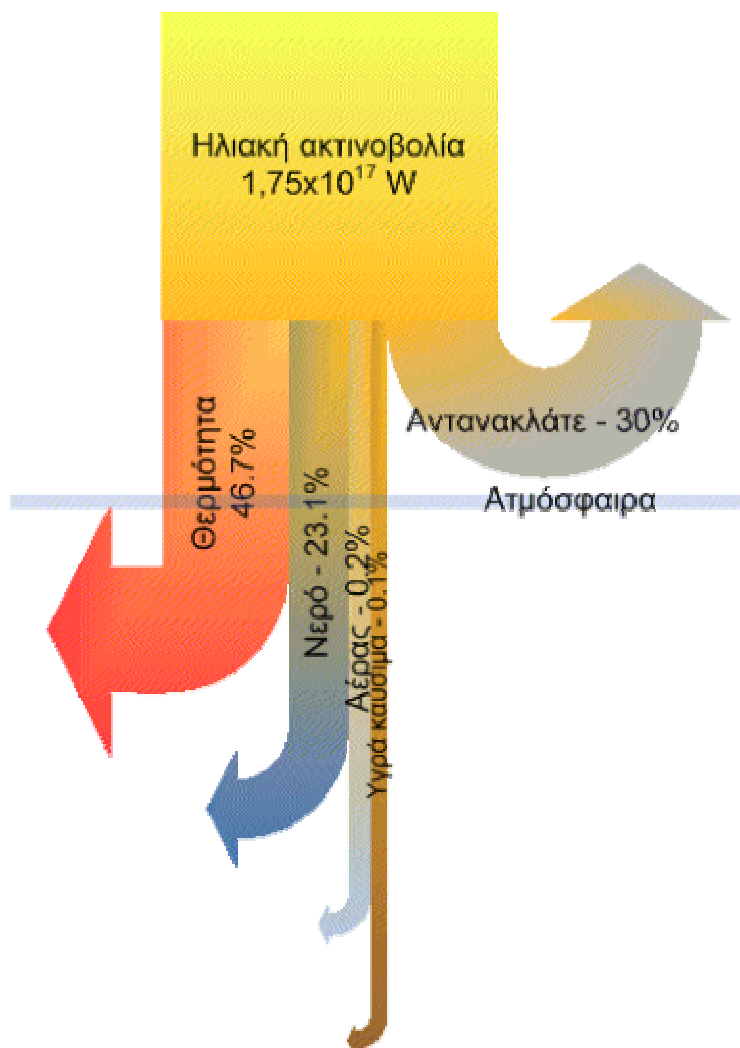
- Προωθούνται νέες, εναλλακτικές και ιδιαίτερα κερδοφόρες μορφές τουρισμού στην περιοχή, όπως π.χ. ο οικοτουρισμός (επισκέψεις σε εγκαταστάσεις οικολογικών μορφών ενέργειας, όπως είναι τα αιολικά πάρκα) [14].

6.3. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ζωής στον πλανήτη μας. Σχεδόν όλες οι μορφές παραγωγής ενέργειας είναι συσχετισμένες έμμεσα ή άμεσα με την ηλιακή. Τα φυτά χρησιμοποιούν τον ήλιο για την διάσπαση του ατόμου του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Το υδρογόνο ενώνεται με το διοξείδιο του άνθρακα για να δημιουργήσει την «τροφή» του φυτού. Τέτοια φυτά που πέθαναν πριν πολλά εκατομμύρια χρόνια δημιούργησαν το κάρβουνο που χρησιμοποιούμε σε διάφορες μορφές παραγωγής ενέργειας. Παρόμοια φυτά έτρωγαν τα ψάρια στις θάλασσες που μετά το πέρας εκατομμυρίων ετών από το θάνατο τους συντέλεσαν στη δημιουργία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Άμεση μορφή εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού είναι η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Φ/Β).

Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Οι ηλιακές κυψέλες είναι «συσκευές» που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Κατά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το ηλιακό φως που «πέφτει» σε έναν ημιαγωγό δυο στρωμάτων δημιουργεί ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ τους. Η τάση αυτή μπορεί να ενεργοποιήσει μια, ανάλογης τάσης και ισχύος, συσκευή ή να διανεμηθεί στο ηλεκτρικό σύστημα.



Σχήμα 6.5. Διασπορά ηλιακής ακτινοβολίας [15].

6.3.1 Η προέλευση των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Αν και οι ηλιακές κυψέλες είναι διαθέσιμες από τα μέσα της δεκαετίας του '50, η επιστημονική έρευνα για τη φωτοβολταϊκό φαινόμενο άρχισε το 1839, όταν ο Γάλλος επιστήμονας Henri Becquerel, ανακάλυψε ότι ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να παραχθεί από τη λάμψη του φωτός επάνω σε ορισμένες χημικές ουσίες.

Η επίδραση παρατηρήθηκε αρχικά σε ένα στερεό υλικό (σε αυτήν την περίπτωση στο σελήνιο) το 1877. Αυτό το υλικό χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια στα φωτόμετρα, τα οποία απαιτούσαν πολύ μικρά ποσά ενέργειας.

Μια βαθύτερη κατανόηση των φυσικών αρχών που συνδέονται με το φαινόμενο δόθηκε από τον Einstein το 1905 και τον Schottky το 1930. Αυτές οι ερμηνείες ήταν απαραίτητες για να μπορέσουν να γίνουν πιο αποδοτικές οι ηλιακές κυψέλες. Μια τέτοια κυψέλη πυριτίου που μετέτρεπε το 6% της ηλιακής ενέργειας που έπεφτε επάνω της, σε ηλεκτρική ενέργεια αναπτύχθηκε από τους Chapin, Pearson και Fueller το 1954, και χρησιμοποιήθηκε σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως στους διαστημικούς δορυφόρους, από το 1958.

Τα σημερινά εμπορικά διαθέσιμα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν αποδοτικότητες μετατροπής της ενέργειας του ήλιου που πέφτει πάνω τους από 5% έως 25% (ανάλογα με τον τύπο, μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό και άμορφου πυριτίου) [15].

6.3.2 Τα είδη των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Μονοκρυσταλικά (m-Si)

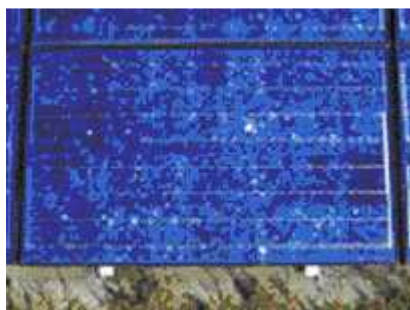
Οι μονοκρυσταλλικές κυψέλες κατασκευάζονται τεμαχίζοντας έναν ενιαίο κρύσταλλο, (πάχος κυψέλης 1/3 έως 1/2 του χιλιοστού), από ένα μεγάλο πλίνθωμα ενιαίου κρυστάλλου που έχει επεξεργαστεί σε θερμοκρασίες περίπου 1400°C, κάτι που είναι μια πολύ ακριβή διαδικασία. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η απόδοση τους κυμαίνεται γύρω στο 18%-23%, δηλαδή αν η ηλιακή ακτινοβολία είναι 700 Wh/m² την ημέρα τότε αυτά θα παράγουν για την συγκεκριμένη μέρα 120 Wh/m² έως 160 Wh/m².



Εικόνα 6.1 Μονοκρυσταλλικές κυψέλες [15].

Πολυκρυσταλικά (p-Si)

Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται με μια διαδικασία χύτευσης, στην οποία το λειωμένο βιομηχανικό πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα όπου και μορφοποιείται. Κατόπιν τεμαχίζεται στις γκοφρέτες. Δεδομένου ότι οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται από χύτευση είναι σημαντικά φτηνότερη η παραγωγή τους, αλλά όχι τόσο αποδοτικές όσο και οι μονοκρυσταλλικές. Αυτή η χαμηλότερη αποδοτικότητα, που κυμαίνεται μεταξύ 13% και 15%, οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.



Εικόνα 6.2. Πολυκρυσταλλικές κυψέλες [15].

Άμορφου πυριτίου (a-Si)

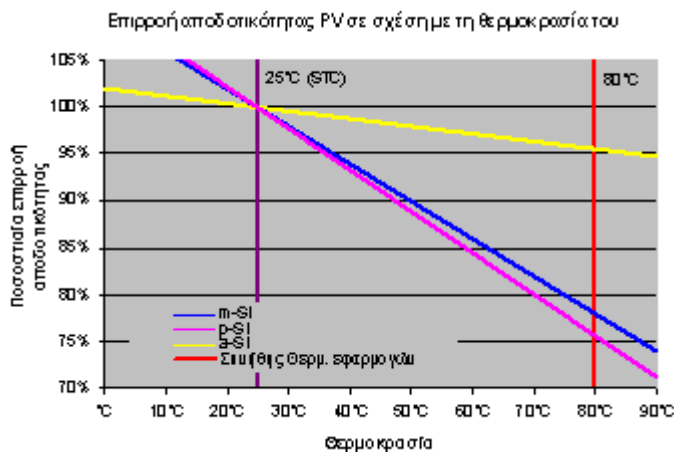
Το άμορφο πυρίτιο, μια από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης (thin film technology), γίνεται με την εναπόθεση του πυριτίου επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδρών αέριο όπως το σιλάνιο (SiH_4). Δεν έχει κρυσταλλική δομή, και το πάχος του (2-3 μm) είναι ιδιαίτερα μικρότερο από το κρυσταλλικής μορφής πυρίτιο (200-500 μm). Από κατασκευαστική άποψη είναι το απλούστερο και επομένως το πιο φθηνό, αλλά η απόδοσή του είναι συγκριτικά μικρότερη. Παρόλα αυτά, είναι ικανοποιητική ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης ηλιοφάνειας. Τα ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν μια κοκκινωπή-καφέ απόχρωση, σχεδόν μαύρη, και επιφάνεια αποτελούμενη από στενές, μεγάλου μήκους λωρίδες. Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 4% και 11%, ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 6.3. Φωτοβολταϊκά στοιχεία αμόρφου πυριτίου [15].

Εκτός από τους παραπάνω τρεις τύπους φωτοβολταϊκών κυψελών από πυρίτιο που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, γίνονται έρευνες και προσπάθειες για τη χρησιμοποίηση και άλλων στοιχείων (είτε μόνων τους ή σε συνδυασμό) όπως π.χ. αρσενικούχο γάλλιο (GaAs), θειούχο κάδμιο (CdS), φωσφορούχο ίνδιο (InP). Επίσης μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολύ λεπτής μεμβράνης από χαλκό-ίνδιο-γάλλιο-diselenide, που έχουν μεγαλύτερη απόδοση (8-13%) από αυτή του άμορφου πυριτίου. Τέλος, μια τελείως νέα τεχνολογία αποτελεί το πρωτοποριακό προϊόν spheral solar. Αντίθετα με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κύτταρα, το νέο υλικό δεν επικάθεται σε άκαμπτη βάση πυριτίου, αλλά είναι φτιαγμένο από χιλιάδες πάμφθυνα σφαιρίδια πυριτίου (κατασκευάζονται από υπολείμματα πυριτίου που προκύπτουν από τη βιομηχανία των chips των ηλεκτρονικών υπολογιστών), εγκλωβισμένα ανάμεσα σε δύο φύλλα αλουμινίου. Κάθε σφαιρίδιο λειτουργεί ως ανεξάρτητο μικροσκοπικό φωτοβολταϊκό κύτταρο, απορροφώντας την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε ηλεκτρισμό. Τα φύλλα αλουμινίου προσδίδουν στο υλικό τη φυσική αντοχή που χρειάζεται, του επιτρέπουν να είναι εύκαμπτο αλλά και ελαφρύ, ενώ ταυτόχρονα παίζουν το ρόλο ηλεκτρικής επαφής. Η γεμάτη φυσαλίδες επιφάνεια που δημιουργούν τα σφαιρίδια επιτρέπει πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακού φωτός, χαρίζοντας στο υλικό αποδοτικότητα της τάξης του 11%. Οι εφευρέτες του υποστηρίζουν ότι μπορεί να καλύψει οποιοδήποτε σχήματος επιφάνειες, αυξάνοντας κατά πολύ τους χώρους όπου μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και δίνοντας στους αρχιτέκτονες τη δυνατότητα να σχεδιάσουν κτίρια με καμπύλες που θα μπορούν να είναι εξοπλισμένα με φωτοβολταϊκά χωρίς μάλιστα να απαιτούνται ενισχυμένες κατασκευές για την στήριξή τους.

Ένα χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ότι η απόδοσή τους επηρεάζεται από την θερμοκρασία που αναπτύσσονται κατά την διάθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Η επιρροή αυτή διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του φωτοβολταϊκού. Σε γενικές γραμμές η αποδοτικότητα μεταβάλλεται σε σχέση με την θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου όπως στο παρακάτω σχήμα 6.6.

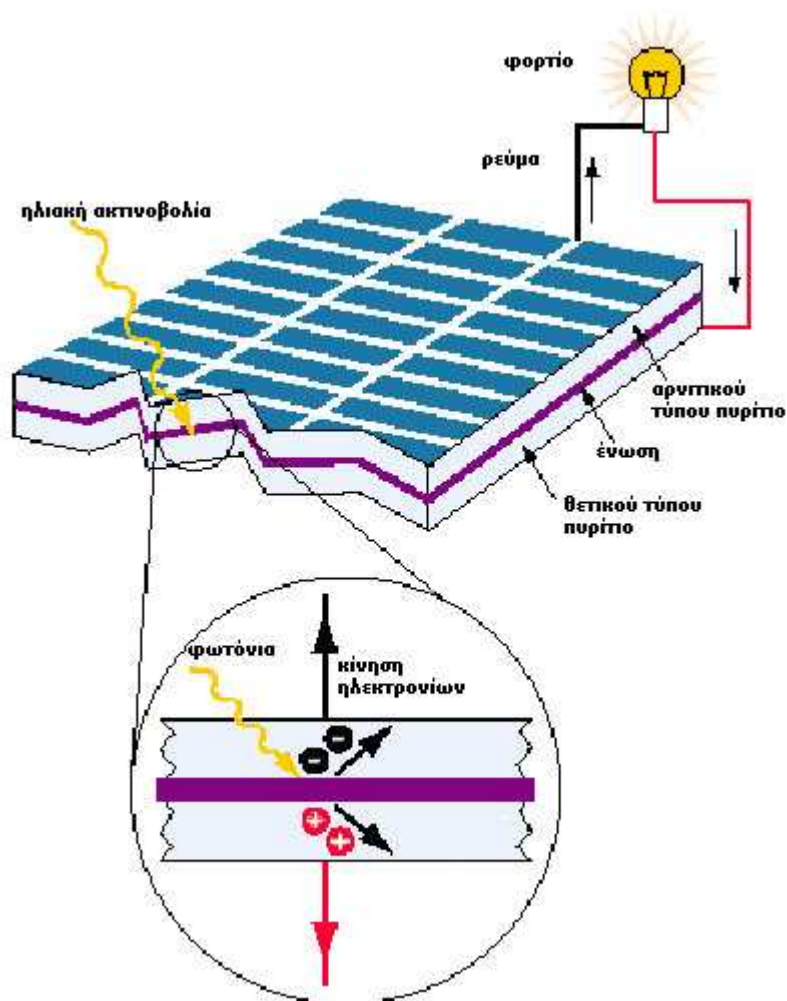


Σχήμα 6.6. Διάγραμμα επιρροής της αποδοτικότητας PV σε σχέση με τη θερμοκρασία του [15].

6.3.3 Πως δουλεύουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία

Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος των μορίων του φωτός (φωτόνια), τα οποία περιέχουν ενέργεια, απορροφάται από το κύτταρο. Από την απορρόφηση ενός φωτονίου ένα ηλεκτρόνιο (αρνητικό φορτίο) απωθείται από ένα άτομο πυριτίου. Αυτό συμβαίνει, όταν η ενέργεια του φωτονίου είναι τουλάχιστον ίση ή ξεπερνάει το ενεργειακό κενό του ημιαγωγού (χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε υλικού) οπότε και απορροφάται από τα ηλεκτρόνια σθένους.

Η ενέργεια που αποκτούν τους δίνει τη δυνατότητα να μεταπηδούν στη περιοχή αγωγιμότητας αφήνοντας πίσω μια θετικά φορτισμένη οπή, δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού. Το ελευθερωμένο ηλεκτρόνιο και το θετικό φορτίο έχουν την τάση να αλληλοεξουδετερωθούν μεταξύ τους. Χρησιμοποιώντας όμως μια δίοδο επιτρέπεται η ροή ηλεκτρονίων μόνο προς τη μία κατεύθυνση (από το θετικό προς το αρνητικό φορτίο), οπότε δεν μπορούν να εξουδετερωθούν παρά μόνο εάν κλείσει το κύκλωμα. Όταν όμως, οι ηλεκτρικές επαφές στο μπροστινό και οπίσθιο τμήμα του κύτταρου συνδέονται μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, τα ελευθερωμένα ηλεκτρόνια κατευθύνονται στο θετικά φορτισμένο πυρίτιο, παράγοντας κατά συνέπεια το ρεύμα [15].



Σχήμα 6.7. Λειτουργία Φ/Β [15].

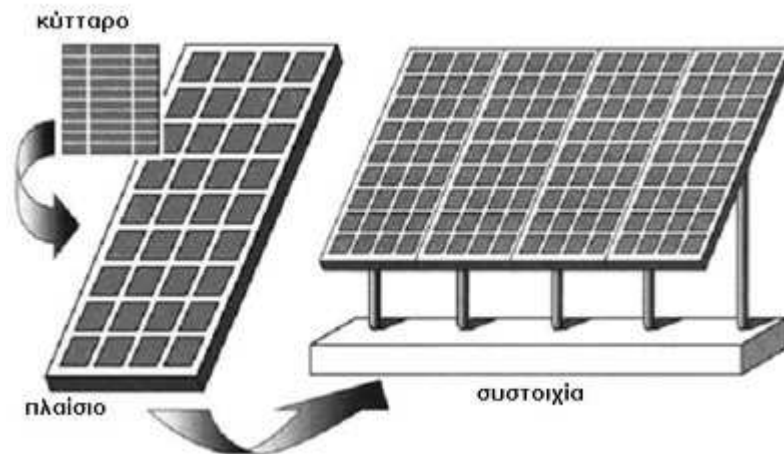
6.3.4 Πλαίσια και συσκευές φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευάζονται από φωτοβολταϊκά κύτταρα (που δεν παράγονται απαραίτητα από τον κατασκευαστή του Φ/Β πλαισίου), τα οποία συνδέονται εν σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την εφαρμογή που τα προορίζει ο κατασκευαστής τους. Καλύπτονται από το μπροστινό μέρος με γυαλί ή πλαστικό τύπου Tedlar ενώ το πίσω μέρος στεγανώνεται συνήθως με ένα πολυμερές υλικό, το EVA (Αιθυλένιο, βινύλιο και άλας οξικού οξέος). Οι κατασκευές αυτές πλαισιώνονται από προφίλ αλουμινίου για περιμετρική στεγανοποίηση και ευκολία στην τοποθέτηση. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει στα πολυκρυσταλλικά και μονοκρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια. Στα πλαίσια άμορφου πυριτίου το υλικό της σιλικόνης εναποτίθεται κατά τη διάρκεια παραγωγής του επάνω στο γυαλί μειώνοντας αισθητά το κόστος κατασκευής του πλαισίου. Η στεγάνωση του πλαισίου γίνεται επίσης με τη χρήση EVA, όμως επειδή το υλικό που εναποτίθεται είναι πολύ πιο λεπτό (0.5μm αντί 350μm) από τα κρυσταλλικά κύτταρα δεν είναι απαραίτητο το αλουμινένιο πλαίσιο καθώς επιτυγχάνεται επαρκής στεγανότητα με την κάλυψη του EVA.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ιδιαίτερα των κρυσταλλικών τύπων, δεν είναι η ίδια με τα κύτταρα που χρησιμοποιούνε καθώς

σημαντικό μέρος της επιφάνειας του πλαισίου μένει ανεκμετάλλευτο λόγω του σχήματος των κύτταρων και του χώρου που χρειάζεται για τη συνδεσμολογία μεταξύ τους. Στα πλαίσια άμορφου πυριτίου όμως επειδή η εναπόθεση του υλικού καλύπτει όλη την επιφάνεια του γυαλιού, αυτό το μειονέκτημα ελαχιστοποιείται.

Τέλος, πολλά Φ/Β πλαίσια σχηματίζουν τις Φ/Β συστοιχίες. Στις συστοιχίες ο εγκαταστάτης μπορεί να ενώσει τα πλαίσια σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα την τάση και την ένταση του ρεύματος που επιθυμεί για το σύστημα του [15].



Σχήμα 6.8. Φωτοβολταϊκά πλαίσια και συστοιχίες [15].

6.3.5 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων τις περισσότερες φορές απαιτεί την ύπαρξη και άλλων στοιχείων στο ηλεκτρολογικό σύστημα για να λειτουργήσει σωστά. Αυτό συμβαίνει γιατί το φωτοβολταϊκό στοιχείο παράγει συνεχές ρεύμα (DC) και επειδή η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Έτσι χρειαζόμαστε κάποια ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία να επεξεργάζονται το ηλεκτρικό ρεύμα με τρόπο που να μπορούμε να έχουμε τη πλέον αποδοτική χρήση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτά τα ηλεκτρονικά συστήματα είναι οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC Inverters) και οι ρυθμιστές τάσης ή φορτιστές (chargers) που χρησιμοποιούνται για την σωστή χρήση των συσσωρευτών στα αυτόνομα συστήματα.

Για ένα σύστημα λοιπόν διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ (σχήμα 6.9) χρειαζόμαστε :

- 1) τα φωτοβολταϊκά στοιχεία
- 2) τον μετατροπέα τάσης (inverter) με MPPT (Maximum Power Point Tracker)
- 3) μια μονάδα ελέγχου και ενδείξεων (συνήθως έχει κάποια οθόνη που δείχνει την κατάσταση του συστήματος)
- 4) το «διπλό» ρολόι της ΔΕΗ που όταν τα φωτοβολταϊκά δεν καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις, συμπληρώνει ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ, και όταν υπάρχει περίσσια παραγόμενου ρεύματος από τα Φ/Β στοιχεία το προσφέρει στο δίκτυο της ΔΕΗ, «γυρνώντας» το ρολόι προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Σχήμα 6.9. Βασικά στοιχεία οικιακού συστήματος διασυνδεδεμένου με το δίκτυο της ΔΕΗ [15].

Ένα αυτόνομο σύστημα αποτελείται από:

- 1) τα φωτοβολταϊκά στοιχεία
- 2) τον ρυθμιστή τάσης – φορτιστή συσσωρευτών
- 3) μια μονάδα ελέγχου και ενδείξεων (συνήθως έχει κάποια οθόνη που δείχνει την κατάσταση του συστήματος)
- 4) τους συσσωρευτές
- 5) τον μετατροπέα τάσης (inverter) σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

Να σημειωθεί ότι ο φορτιστής, ο μετατροπέας ισχύος, η μονάδα ελέγχου και ενδείξεων μπορούν να ενσωματωθούν σε μια μόνο συσκευή για εξοικονόμηση χώρου και απλούστευση του συστήματος [15].

6.3.6 Μετατροπείς τάσης

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο είναι υπό μορφή συνεχούς ρεύματος (DC). Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) είναι απαραίτητη για τη χρήση πολλών κοινών συσκευών όπως και για την σύνδεση στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και επιτυγχάνεται με έναν μετατροπέα τάσης συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή αλλιώς μετατροπέας DC-AC.

Η αποδοτικότητα των μετατροπέων είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, όταν λειτουργούν πάνω από το 10% της μέγιστης παραγωγής τους, και μπορεί να φτάσει έως και 96%. Οι μετατροπείς που συνδέονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά ενσωματώνουν μια ηλεκτρονική διάταξη ανίχνευσης του μέγιστου σημείου ισχύος (Maximum Power Point Tracker - MPPT), ο οποίος ρυθμίζει συνεχώς τη σύνθετη αντίσταση φορτίων έτσι ώστε ο μετατροπέας να εξάγει πάντα τη μέγιστη ενέργεια από το σύστημα.

Οι μετατροπείς υπάγονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στους αυτό-συγχρονιζόμενους και στους συγχρονισμένους βάσει μίας σύνδεσης. Ο πρώτος μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιούμενος από την πηγή ενέργειας, δηλαδή μόλις υπάρχει ρεύμα από τα Φ/Β τότε ενεργοποιείται για να μην σπαταλάει ρεύμα από τους συσσωρευτές. Ο συγχρονιζόμενος μετατροπέας ενεργοποιείται και ελέγχεται από το δίκτυο. Αυτό είναι απαραίτητο για να διατηρήσει το δίκτυο σταθερή ποιότητα ρεύματος και να

αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα. Αυτής της κατηγορίας οι μετατροπείς σταματάνε όταν υπάρχει βλάβη στο δίκτυο για πρόληψη ηλεκτροπληξίας στα συνεργεία της ΔΕΗ.

Παραδοσιακά χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας για ολόκληρη τη συστοιχία. Ξεχωριστοί μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές συστοιχίες Φ/Β σε περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς είναι μεγάλη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοπιστία καθώς εάν προκύψει κάποιο πρόβλημα σε μια μονάδα, απομονώνεται χωρίς να σταματήσει την παραγωγή το υπόλοιπο σύστημα [15].

6.3.7 Πόση ενέργεια παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

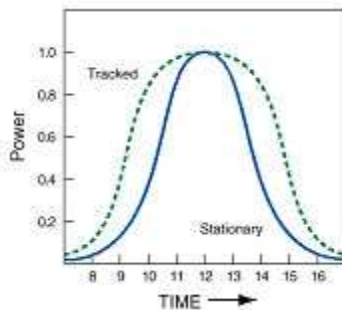
Η καθημερινή ενεργειακή παραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα ποικίλει ανάλογα με τον προσανατολισμό, τη θέση, τον καιρό και την εποχή. Η βέλτιστη θέση του φωτοβολταϊκού ως προς την ετήσια παραγωγή του είναι μια κλίση, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και προσανατολισμό απολύτως νότιο (για την Ελλάδα που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο). Για έμφαση στην καλοκαιρινή περίοδο η κλίση πρέπει να είναι κατά 15 μοίρες μικρότερη ενώ για έμφαση στη χειμερινή περίοδο 15 μοίρες μεγαλύτερη. Η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια βγαίνει από τον πολλαπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύος με έναν συντελεστή ηλιοφάνειας (βλέπε σχήμα 6.10). Για αυτόνομο σύστημα, η παραγόμενη ενέργεια πρέπει να καλύπτει την ενέργεια που καταναλώνεται ημερησίως από τις συσκευές. Επίσης οι συσσωρευτές πρέπει να έχουν αρκετές αμπερώρες (Ah) για να καλύψουν τα φορτία για μια έως και πέντε μέρες, αναλόγως με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις.

Σημαντικό είναι να κατανοηθεί ότι ένα αυτόνομο σύστημα δεν διαστασιολογείται βάσει των τετραγωνικών μέτρων του σπιτιού που θα ηλεκτροδοτήσει, αλλά βάσει των συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν και για πόσο χρόνο αυτές λειτουργούν (μέρα και νύχτα). Επίσης μπορούμε εάν θέλουμε να καλύψουμε κάποια φορτία με τη τεχνολογία των Φ/Β και κάποια άλλα με κάποια άλλη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας (υβριδικό σύστημα).

Η πιο σωστή δράση για τον προσδιορισμό κάποιου συστήματος είναι η συμβουλή κάποιου επαγγελματία. Παρόλα αυτά με κάποια απλή μέθοδο είναι εφικτή μία προσέγγιση στο μέγεθος ενός συστήματος. Έτσι εάν έχουμε ένα σπίτι στην Χαλκιδική το οποίο το χρησιμοποιούμε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα σαββατοκύριακα και θέλουμε να καλύψουμε μια ημερήσια κατανάλωση 1kWh ακολουθούμε τα εξής βήματα: $1000/(3,1+2)=196W \Rightarrow$ με 2 Φ/Β στοιχεία των 120W θα καλύψουν τις απαιτήσεις μας. Το περίσσειμα της ενέργειας θα αποθηκεύεται σε συσσωρευτές. Η επιλογή των συσσωρευτών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του Φ/Β και ποιο συγκεκριμένα το V_{mp} πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ονομαστική τάση της μπαταρίας. Αν υποθέσουμε λοιπόν ότι το σύστημα μας θα έχει 12V μπαταρία τότε θα χρειαστούμε για το σύστημα μας τουλάχιστον ένα συσσωρευτή 210Ah ($1000/12/40\%=208$). Να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες δεν μπορούν να αποδώσουν το 100% της αποθηκευμένης ενέργειας παρά, στην καλύτερη περίπτωση, ένα 40%.

Αυτή η μέθοδος είναι για ένα πρόχειρο υπολογισμό ενός συστήματος και επαγγελματική βοήθεια πρέπει να αναζητηθεί για ακριβέστερους υπολογισμούς καθώς οι παράγοντες που επηρεάζουν ένα τέτοιο σύστημα είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς που αναλύθηκαν παραπάνω.

Οι συστοιχίες Φ/Β συνήθως τοποθετούνται σε σταθερές βάσεις. Αν όμως θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε την απόδοση του Φ/Β συστήματος μας τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ειδικές βάσεις που ακολουθούν τον ήλιο μεταβάλλοντας συνεχώς την κλίση του συστήματος στη βέλτιστη γωνία ως προς τον ήλιο. Οι μεταβολές μπορούν να γίνουν σε δυο αλλά και σε τρεις άξονες (σχήμα 6.10) [15].



Σχήμα 6.10. Διάγραμμα που παρουσιάζει παραγωγή ενέργειας από σταθερό και με μεταβλητής γωνίας φωτοβολταϊκό σύστημα [15].

6.4. ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

Ως μικρό χαρακτηρίζεται ένα Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ) όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μικρότερη των 10 MW, χωρίς το όριο αυτό να αποτελεί μία γενικά αποδεκτή διαχωριστική γραμμή. Σημειώνεται ότι σε ορισμένες χώρες το όριο διάκρισης μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ ορίζεται στα 5 MW. Το ότι το όριο διάκρισης δεν είναι ιδιαίτερα σαφές οφείλεται στο ότι οι διαφορές τους δεν είναι τόσο ποσοτικές όσο ποιοτικές και αφορούν την επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, την διαμόρφωση και την εκμετάλλευση του ΥΗΕ. Όπως θα αναπτυχθεί στην συνέχεια, μία βασική διαφοροποίηση μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ έγκειται στην επιλογή και εγκατάσταση τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στην περίπτωση των μικρών ΥΗΕ. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τυποποίηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για τον εξοπλισμό μικρών ΥΗΕ φθάνει συνήθως μέχρι την ισχύ των 10 MW, φαίνεται ότι η τιμή αυτή αποτελεί το πλέον αποδεκτό όριο διάκρισης μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ.

Η αξιοποίηση του υδροδυναμικού μίας χώρας αποτελεί οπωσδήποτε ένα εθνικό στόχο δεδομένου ότι πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, όπως οι μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η μεγάλη ειδική ισχύς (ισχύς ανά βάρος του εξοπλισμού) και η δυνατότητα συνδυασμού με άλλες χρήσεις του νερού. Την αξιοποίηση των μεγάλης ισχύος υδατοπτώσεων αναλαμβάνουν οι εταιρείες παραγωγής και διανομής ενέργειας, όπως η ΔΕΗ, για δύο κυρίως λόγους: τα μεγάλα ΥΗΕ είναι απαραίτητα σε ένα μεγάλο δίκτυο επειδή είναι τα μόνα που μπορούν να καλύψουν αποτελεσματικά τις αιχμές ζήτησης του δικτύου και επειδή το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ υψηλό.

Ένα μικρό ΥΗΕ αξιοποιεί, όπως και ένα μεγάλο άλλωστε, την ενέργεια μιας υδατόπτωσης, όμως, λόγω ακριβώς της μικρής εγκατεστημένης ισχύος, δεν έχει την δυνατότητα ανακούφισης των αιχμών ισχύος του ηλεκτρικού δικτύου και για τον λόγο αυτό η διαστασιολόγηση και σχεδίαση του πρέπει να γίνεται με κύριο κριτήριο την οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης ενώ την κατασκευή και εκμετάλλευση τους μπορούν να αναλάβουν επιχειρήσεις ιδιωτικού δικαίου, όπως εταιρείες τοπικής

αυτοδιοίκησης και κατασκευαστικές τεχνικές εταιρείες, έτσι ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός κατασκευής τους.

Σε εθνικό επίπεδο η κατασκευή πολλών μικρών ΥΗΕ είναι σημαντική επειδή, λόγω του μεγάλου πλήθους των αξιοποιήσιμων θέσεων, σε σχέση με τις αντίστοιχες για μεγάλα ΥΗΕ, η ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι αξιόλογη. Για τον λόγο αυτό άλλωστε όλες σχεδόν οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαθέτουν ήδη από πολλά χρόνια σημαντικό πλήθος μικρών ΥΗΕ. Αποτέλεσμα του αμείωτου διεθνούς ενδιαφέροντος για την αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων είναι η δραστηριοποίηση και άνθηση πολλών εταιρειών που κατασκευάζουν τυποποιημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (υδροστροβίλους, γεννήτριες και ρυθμιστές) για μικρά ΥΗΕ [16].

6.4.1. Διαφορές μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ

Ένα μικρό ΥΗΕ δεν πρέπει να θεωρηθεί ως μικρογραφία ενός μεγάλου καθώς η θεώρηση αυτή θα οδηγήσει σε οικονομική αποτυχία την επένδυση. Οι κύριες διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ εντοπίζονται στην επιλογή και εγκατάσταση τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καθώς και στο πρόγραμμα εκμετάλλευσης, το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στην διάταξη και διαστασιολόγηση των διαφόρων στοιχείων που το απαρτίζουν.

6.4.1.1 Επιλογή τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός των μικρών ΥΗΕ, και κύρια οι υδροστροβίλοι, οι γεννήτριες και οι ρυθμιστές προσφέρονται τυποποιημένοι από μεγάλο αριθμό κατασκευαστών. Η τυποποίηση καλύπτει τους υδροστροβίλους όλων των τύπων (Francis, Pelton, Kaplan και βολβοειδής), ενώ παράλληλα διατίθενται και τύποι υδροστροβίλων κατάλληλοι μόνο για μικρές ισχύεις, όπως ο Cross-Flow (Banki), και οι διάφοροι τύποι υδροστροβίλων αξονικής ροής, όπως ο σωληνωτός τύπου S. Η τυποποίηση των υδροστροβίλων βασίζεται στους νόμους ομοιότητας των υδροδυναμικών μηχανών και η διακριτοποίηση των μεγεθών είναι αρκετά λεπτή έτσι ώστε να καλύπτεται κατά το δυνατό πλήρως το διάγραμμα παροχής-υψών. Το βασικό πλεονέκτημα της επιλογής τυποποιημένου υδροστροβίλου έγκειται στο σημαντικά μικρότερο κόστος, δεδομένου ότι δεν επιβαρύνεται από το κόστος ανάπτυξης (υδραυλική χάραξη, δοκιμές σε μοντέλο κλπ), και κατά συνέπεια στον μικρότερο χρόνο παράδοσης, σημείο ιδιαίτερης βαρύτητας για την περίπτωση μικρού ΥΗΕ, του οποίου ο χρόνος κατασκευής δεν υπερβαίνει (και δεν πρέπει να υπερβαίνει) τα 2 χρόνια. Φυσικά υπάρχουν και μειονεκτήματα, όπως το ότι τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου δεν είναι απόλυτα προσαρμοσμένα στις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια να υπολείπεται κατά τι από αυτή που θα παραγόταν από υδροστροβίλο σχεδιασμένο για το συγκεκριμένο έργο. Οι τυποποιημένοι υδροστροβίλοι σχεδιάζονται επιπλέον έτσι ώστε η συντήρησή τους να είναι απλούστερη με επεμβάσεις κυρίως στα έδρανα.

Η τυποποίηση των ρυθμιστών στροφών των μονάδων δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα προσαρμογής στην κάθε εξεταζόμενη περίπτωση χάρη στην εφαρμογή σύγχρονης τεχνολογίας, μέσω της οποίας οι σύγχρονοι ρυθμιστές στροφών είναι απόλυτα προγραμματιζόμενοι.

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές γεννήτριες είναι δυνατή η επιλογή ασύγχρονων γεννητριών στην περίπτωση κατά την οποία η μονάδα συνδέεται σε ισχυρό διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο διατηρεί σταθερή την συχνότητα του

ηλεκτρικού ρεύματος και παρέχει την απαραίτητη άεργη ισχύ. Για μεγαλύτερες ισχείς επιλέγονται σύγχρονες τυποποιημένες γεννήτριες (που δεν έχουν απαιτήσεις άεργου ισχύος), οι οποίες όμως σε σύγκριση με τις ασύγχρονες έχουν υψηλότερο κόστος και αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης [16].

6.4.1.2 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης και συνέπειες της κατασκευής ενός μικρού ΥΗΕ

Όπως ήδη αναφέρθηκε ο κύριος ρόλος των μεγάλων ΥΗΕ είναι η κάλυψη των αιχμών ισχύος των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών δικτύων εκτός από τις περιπτώσεις ΥΗΕ σε μεγάλους ποταμούς (έργα κατά τον ρού του ποταμού), τα οποία έχουν μικρή δυνατότητα αναρρύθμισης και λειτουργούν ως μονάδες βάσης. Ακριβώς για να αυξηθεί η δυνατότητα παρέμβασης στην ζήτηση, τα μεγάλα ΥΗΕ εφοδιάζονται με μεγάλης χωρητικότητας ανάντι ταμιευτήρα, μέσω του οποίου ετεροχρονίζεται κατά βούληση η παραγωγή ενέργειας από την φυσική παροχή του ποταμού. Όμως η κατασκευή μεγάλου ανάντι ταμιευτήρα δίνει στο ΥΗΕ την δυνατότητα πλήρους σχεδόν αξιοποίησης της εισερχόμενης ποσότητας νερού (απώλεια υπάρχει μόνο στην περίπτωση μεγάλων πλημμυρικών παροχών οπότε η περίσσεια υπερχειλίζει). Τέλος με σκοπό την μεγαλύτερη δυνατή παρέμβαση στην ζήτηση ισχύος από το δίκτυο ένα μεγάλο ΥΗΕ συνήθως υπερδιαστασιολογείται σε σχέση με τις μέσες φυσικές εισροές γεγονός που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και άρα μικρές τιμές του συντελεστού φορτίου. Η κατασκευή μεγάλου ανάντι ταμιευτήρα και η υπερδιαστασιολόγηση των μονάδων παραγωγής οδηγούν σε διόγκωση των έργων πολιτικού μηχανικού και σε σημαντική επιβάρυνση του κόστους του έργου, η οποία όμως τελικά υπερκαλύπτεται από το γεγονός ότι παράγεται κυρίως ενέργεια αιχμής, η αξία της οποίας είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτήν της ενέργειας βάσεως. Ακριβώς στο σημείο αυτό εντοπίζεται το ενδιαφέρον κατασκευής των αναστρέψιμων ΥΗΕ, τα οποία για τους λόγους που αναφέρθηκαν, δεν έχουν ενδιαφέρον παρά μόνο όταν είναι μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος.

Αντίθετα, ένα μικρό ΥΗΕ, λόγω ακριβώς του μεγέθους του δεν έχει δυνατότητα ανακούφισης των αιχμών ισχύος και για το λόγο αυτό το σκεπτικό διαστασιολόγησης του θα πρέπει να είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Σύμφωνα με τα προηγούμενα η κατασκευή ανάντι ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας έχει ενδιαφέρον μόνο κατά το ότι θα επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών εισροών. Όμως μεγάλος ταμιευτήρας αντιστοιχεί και σε μεγάλο φράγμα και άρα υψηλό κόστος (ίδιο κόστος του φράγματος και κόστος από την επιφάνεια που θα κατακλυσθεί) και για τον λόγο αυτό στα μικρά ΥΗΕ ο ανάντι ταμιευτήρας περιορίζεται σε μια δεξαμενή που εξυπηρετεί τις ανάγκες της υδροληψίας και μόνο. Η διαμόρφωση αυτή αντιστοιχεί σε μικρότερες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον και άρα μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη ότι ένας υδροστρόβιλος μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά σε περιορισμένο εύρος γύρω από το ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους (λόγω μηχανικών προβλημάτων που σχετίζονται με την ευστάθεια της ροής ή λόγω συνθηκών σπηλαίωσης) το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του μικρού ΥΗΕ θα πρέπει να είναι το ακόλουθο: όταν η φυσική εισροή κυμαίνεται μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης επιτρεπόμενης για την ομαλή λειτουργία του υδροστρόβιλου, τότε η μονάδα λειτουργεί και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για φυσικές εισροές μικρότερες της ελάχιστης επιτρεπόμενης η μονάδα παραμένει κλειστή και η φυσική παροχή υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη. Για φυσικές εισροές μεγαλύτερες της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής, η μονάδα λειτουργεί στην μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή ενώ η περίσσεια

υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη. Το πρόγραμμα εκμετάλλευσης είναι δυνατόν να γίνει περισσότερο ελαστικό βελτιώνοντας παράλληλα την αξιοποίηση των φυσικών εισροών, με την παράλληλη εγκατάσταση δύο ή και περισσότερων μονάδων παραγωγής, φυσικά με επιβάρυνση του κόστους.

Εάν στα προηγούμενα ληφθεί επιπλέον υπόψη η έντονη χρονική διακύμανση των φυσικών εισροών, προκύπτει η άμεση συσχέτιση της παραγόμενης ενέργειας (άρα των εσόδων), της διαστασιολόγησης των έργων προσαγωγής του νερού καθώς και του εξοπλισμού, του μεγέθους του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Παραγωγής και του συνολικού ύψους της επένδυσης με το μέγεθος και την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων παραγωγής. Από την αριθμητική προσομοίωση της λειτουργίας μικρού ΥΗΕ με δεδομένη την καμπύλη διάρκειας παροχής γίνεται φανερό η σημασία της επιλογής του μεγέθους των μονάδων παραγωγής στα οικονομικά αποτελέσματα της επένδυσης τα οποία, εκτός περιπτώσεων τροφοδοσίας ανεξάρτητου ηλεκτρικού δικτύου, θα πρέπει να αποτελούν το μοναδικό κριτήριο επιλογής.

Άρα βασική διαφορά μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ είναι ο κατά το δυνατόν περιορισμός των έργων πολιτικού μηχανικού στην περίπτωση των μικρών και η οποία συσχετίζεται άμεσα με τον τρόπο εκμετάλλευσης του έργου.

Μία άλλη ιδιαιτερότητα στην λειτουργία των μικρών ΥΗΕ προέρχεται από την απουσία μεγάλου ανάντι ταμιευτήρα. Τα εισερχόμενα νερά δεν έχουν τον χρόνο να ηρεμήσουν οπότε τα αιωρούμενα σωματίδια, κυρίως η άμμος, δεν συγκρατείται παρά με την διαμόρφωση ειδικών αμμοπαγίδων. Στην έξοδο της αμμοπαγίδας θα πρέπει να ελέγχεται η περιεκτικότητα της ροής σε αιωρούμενα σωματίδια μέσω θολομέτρου και να διακόπτεται η λειτουργία της μονάδας ώστε να αποφεύγεται η μηχανική διάβρωση του υδροστροβίλου (τα σχετικά όρια πρέπει να καθορισθούν σε συνεργασία με τον κατασκευαστή των υδροστροβίλων). Επίσης, λόγω ακριβώς την απουσίας μεγάλου ανάντι ταμιευτήρα η διάρκεια πλήρωσης της ανάντι της υδροληψίας δεξαμενής από τα φερτά του ποταμού είναι πολύ μικρή και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να προβλέπεται η εύκολη προσπέλαση μηχανημάτων για τον καθαρισμό της λεκάνης.

Ακόμη μία σημαντική διαφορά μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ είναι η έκταση των μελετών (υδρολογικών, γεωλογικών και τοπογραφικών αποτυπώσεων) που απαιτούνται για την κατάρτιση των μελετών (αναγνωριστικής μελέτης, προμελέτης και μελέτης εφαρμογής). Λόγω της σημασίας των μεγάλων ΥΗΕ οι μελέτες αυτές είναι διεξοδικές ενώ τα υδρολογικά στοιχεία (φυσικές εισροές) θα πρέπει να είναι αξιόπιστα (να προέρχονται από μετρήσεις) και να εκτείνονται σε μεγάλο χρονικό βάθος (20 ετών τουλάχιστον). Στα μικρά ΥΗΕ δεν υπάρχει αυτή η πολυτέλεια και οι υδρολογικές μετρήσεις στην εξεταζόμενη θέση είναι συνήθως πολύ περιορισμένες. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπερασθεί εν μέρει μέσω συσχετίσεων με γειτονικές λεκάνες απορροής όπου υπάρχουν μετρήσεις ή από την εφαρμογή αριθμητικών υδρολογικών προσομοιώσεων που λαμβάνουν υπόψη τις ατμοσφαιρικές κατακρημνήσεις και τις διαθέσιμες μετρήσεις. Η αναμενόμενη ανακρίβεια στην διαμόρφωση της καμπύλης διάρκειας παροχής έχει επιπτώσεις στην επιλογή του μεγέθους του υδροστροβίλου και για αυτό είναι πιο φρόνιμο να επιλεγεί ένας μικρότερης ισχύος υδροστροβίλος παρά ένας μεγαλύτερος που θα έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωση του κόστους του έργου χωρίς ενδεχόμενα κέρδος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται σχετικά, ότι το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού συμμετέχει στο συνολικό κόστος ενός μικρού ΥΗΕ κατά 25-35% περίπου. Άρα η επιλογή μεγαλύτερου υδροστροβίλου, γεννήτριας κλπ. επιβαρύνει το έργο 4 φορές περισσότερο από το επιπλέον κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Οι υδρολογικές μετρήσεις και εκτιμήσεις των αναμενόμενων πλημμυρικών επεισοδίων (μέγιστης πλημμυρικής παροχής και

στάθμης) επηρεάζουν επίσης τα έργα για την προστασία του ΥΗΣ και της υδροληψίας. Μία υποεκτίμηση της μέγιστης στάθμης των υδάτων μπορεί να απλοποιήσει τα έργα προστασίας του ΥΗΣ και της υδροληψίας όμως σε περίπτωση αστοχίας υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για την ασφάλεια όλου του έργου. Θα πρέπει λοιπόν οι εκτιμήσεις αυτές να είναι ρεαλιστικές, η προβλεπόμενη όμως προστασία του έργου δεν θα πρέπει να τίθεται σε αμφιβολία. Παρόμοια ισχύουν και για την έκταση των γεωλογικών και γεωστατικών μελετών, η έκταση των οποίων επηρεάζει σημαντικά το κόστος των μελετών. Από την άλλη όμως πλευρά μία αστοχία στις εκτιμήσεις μπορεί να οδηγήσει σε αναθεώρηση της μελέτης εφαρμογής (περιπτώσεις κατολισθήσεων, ασταθών εδαφών κλπ) και σε υπέρβαση των προϋπολογισμών κατά την φάση της κατασκευής.

Η μελέτη του μικρού ΥΗΕ θα πρέπει να λάβει υπόψη την προσπέλαση και έργα υποδομής που θα απαιτηθούν καθώς και την απόσταση των γραμμών μεταφοράς μέχρι την σύνδεση στο δίκτυο (συνήθως μέσης τάσεως) της ΔΕΗ, το κόστος των οποίων μπορεί να αποτελεί σημαντικό ποσοστό του όλου έργου.

Το κόστος λειτουργίας των ΥΗΕ είναι μικρό και συνήθως το μεγάλο ποσοστό αντιστοιχεί στο κόστος προσωπικού λειτουργίας και συντήρησης. Στα μικρά ΥΗΕ το κόστος προσωπικού λειτουργίας μπορεί να μηδενισθεί μέσω πλήρους αυτοματισμού της μονάδας (τηλεχειρισμός και τηλεσηματοδοσία).

Τέλος τα μικρά ΥΗΕ είναι δυνατόν να συνδυασθούν με άλλες διευθετήσεις ή εφαρμογές, όπως τα έργα άρδευσης (αξιοποίηση λιμνοδεξαμενών) ή ύδρευσης (όπως ο υδαταγωγός Μόρνου) και στην περίπτωση αυτή τα έργα πολιτικού μηχανικού προκύπτουν ακόμη περισσότερο περιορισμένα.

Συμπερασματικά προκύπτει, ότι οι φάσεις της μελέτης (αναγνωριστική μελέτη, προμελέτη και μελέτη εφαρμογής) θα πρέπει να έχουν μία προοδευτική εμβάθυνση με σωστές εκτιμήσεις όπου χρειάζεται και επιπλέον να ικανοποιούν μία λεπτή ισορροπία ανάμεσα σε δύο αντίθετες επιδιώξεις: την διατήρηση του κόστους κατά το δυνατόν σε χαμηλό επίπεδο και την σωστή διάταξη και διαστασιολόγηση των έργων. Εάν διαταραχθεί αυτή η ισορροπία ενδεχόμενα να υπάρξει κίνδυνος στην ασφάλεια ή την αποδοτικότητα του έργου ή σημαντικής υπέρβασης του προϋπολογισμού.

Θα πρέπει ακόμη να τονισθεί ότι στα μικρά ΥΗΕ η μόνη τυποποίηση που υπάρχει αναφέρεται στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και όχι στην διαμόρφωση και διάταξη του έργου, όπου η ποικιλία είναι μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση των μεγάλων ΥΗΕ.

Για όλους τους προηγούμενους λόγους τις διάφορες φάσεις της μελέτης των μικρών ΥΗΕ πρέπει να αναλαμβάνει ομάδα μελετητών με σχετική εμπειρία [16].

6.4.2. Δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ΥΗΣ στην Ελλάδα

Η χώρα μας καλείται, χάρη στο ευνοϊκό νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει σήμερα, να καλύψει ένα κενό που δημιουργήθηκε τις περασμένες δεκαετίες. Φυσικά θα πρέπει πρώτα να απαντηθεί το ερώτημα του πόση είναι η ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί ετησίως από την οικονομοτεχνικά ορθολογική αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων του Ελληνικού χώρου (με τις σημερινές επικρατούσες οικονομικές συνθήκες). Η εκτίμηση αυτή είναι πολύ δύσκολη λόγω της ιδιαιτερότητας των μικρών ΥΗΕ και της ανομοιόμορφης κατανομής τους (πρόκειται για σημειακά σχεδόν εντοπισμένη ενέργεια και όχι επιφανειακά κατανεμημένη). Για την εκτίμηση αυτή κάθε ποταμός ή παραπόταμος πρέπει να εξετασθεί χωριστά, να ληφθούν υπόψη οι τοπικές ιδιομορφίες και διαμορφώσεις, να γίνουν υδρολογικές μετρήσεις και

εκτιμήσεις, να καταγραφούν άλλες χρήσεις των υδάτων, δηλαδή να αναλυθεί κάθε θέση χωριστά. Επειδή η εργασία αυτή απαιτεί τεράστια μέσα και χρόνο δεν είναι δυνατόν να δοθεί μία ακριβής αποτύπωση του μικρού υδροδυναμικού στον ελληνικό χώρο.

Κατά το παρελθόν έχουν υπάρξει κάποιες εκτιμήσεις που ανεβάζουν τη ετήσια ενέργεια από την αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων της Ελλάδας να ανέρχεται σε 3000 GWh, όμως το στοιχείο αυτό θα πρέπει να θεωρηθεί ως υπερβολικά αισιόδοξο και νεότερες εκτιμήσεις το περιορίζουν στα 2000 GWh. Ενδεικτικό των αισιόδοξων παλαιότερων εκτιμήσεων αναφέρεται η περίπτωση της Κρήτης, από την λεπτομερή ανάλυση όλων των πιθανών θέσεων της οποίας (εξετάστηκαν 51 θέσεις) προέκυψε, ότι μόνο 15 θέσεις είναι οικονομοτεχνικά αποδεκτές, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περί τα 5 MW, ενώ στις περισσότερες η ονομαστική ισχύς των μονάδων παραγωγής είναι μικρότερη των 600 KW.

Από την θεωρητική μελέτη του μικρού υδροδυναμικού της Ελλάδας και την αξιολόγηση των υπαρχόντων στοιχείων προέκυψε ότι η ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί ετησίως από τα μικρά ΥΗΕ της Ελλάδας, ισχύος μικρότερης των 10 MW, είναι της τάξεως των 2000 GWh, από την οποία οι 1500 GWh περίπου αντιστοιχούν σε μικρά ΥΗΕ ισχύος μικρότερης των 5 MW. Στον πίνακα 6.2 που ακολουθεί δίνεται η ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί ετησίως από μικρά ΥΗΕ ισχύος έως 5 MW ανά υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας.

Από το πίνακα αυτό γίνεται φανερή η μεγάλη ανισοκατανομή της ενέργειας από μικρά ΥΗΕ μεταξύ των υδατικών διαμερισμάτων και ότι περισσότερο προικισμένα είναι τα δυτικά διαμερίσματα της χώρας (Δυτική Πελοπόννησος, Δυτική Στ. Ελλάδα, Δυτική Μακεδονία και η Ήπειρος) για δύο προφανείς λόγους: έχουν περισσότερες βροχοπτώσεις, άρα και επιφανειακές παροχές, και διαθέτουν έντονο ανάγλυφο. Παράλληλα, στην ίδια μελέτη, συγκεντρώθηκαν αξιολογήθηκαν υπάρχοντα στοιχεία για 66 θέσεις μικρών ΥΗΕ ισχύος μέχρι 5 MW, οι οποίες έχουν ήδη αναγνωρισθεί. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των θέσεων αυτών ανέρχεται σε 150 MW και η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας θα είναι της τάξεως των 800 GWh.

Πίνακας 6.2. Ενέργεια από οικονομοτεχνικά αποδεκτή αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού της Ελλάδας ανά υδατικό διαμέρισμα [16].

Υδατικό διαμέρισμα	Επιφάνεια (Km ²)	Ενέργεια ετησίως (GWh/y)	Πυκνότητα ενέργειας 10 ³ (GWh/Km ² y)
Δυτική Πελοπόννησος	7.771	125	16,10
Βόρεια Πελοπόννησος	6.596	55	8,34
Ανατολική Πελοπόννησος	8.702	40	4,60
Δυτική Στ. Ελλάδα	10.420	420	40,31
Ήπειρος	10.275	485	47,20
Αττική	3.326	3	0,90
Ανατολική Στ. Ελλάδα	11.923	40	3,35
Θεσσαλία	13.148	37	2,81

Δυτική Μακεδονία	13.404	165	12,31
Κεντρική Μακεδονία	10.388	15	1,44
Ανατολική Μακεδονία	7.342	40	5,44
Θράκη	10.894	95	8,72
Κρήτη	8.330	45	5,40
Νησιά Αιγαίου	9.060	15	1,65
Σύνολο	131.579	1580	12

Τα στοιχεία του πίνακα 6.2 με την κατανομή του δυναμικού ανά διαμέρισμα της Ελλάδας, δίνουν απλώς μία εικόνα του οικονομοτεχνικά διαθέσιμου μικρού υδροδυναμικού ανά υδατικό διαμέρισμα και δεν βοηθούν ιδιαίτερα στον καθορισμό ενός προγράμματος δράσεως για την αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού της χώρας. Ακριβώς για την λεπτομερέστερη αποτύπωση του μικρού υδροδυναμικού της Ελλάδας το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας, μέτρο 3.4, ανέλαβε την διερεύνηση και αξιολόγηση των θέσεων που διαθέτουν τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο μικρό υδροηλεκτρικό δυναμικό. Θα πρέπει επίσης να γίνει αναφορά στο πρόγραμμα ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ, το οποίο ξεκίνησε από τον Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, αντικείμενο του οποίου είναι η πλήρης ψηφιακή απεικόνιση του υδατικού δυναμικού της Ελλάδας [16].

6.4.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

α) Οπτική όχληση

Σε ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο είναι ευρέως πλέον διαδεδομένη η χρήση νέων και αναβαθμισμένων τεχνικών κατασκευής, όπως ο εγκιβωτισμός μέσα στο έδαφος των αγωγών προσαγωγής / υδραυλικών σηράγγων, η πλήρης αρχιτεκτονική προσαρμογή των -μικρού μεγέθους- κτιριακών εγκαταστάσεων του σταθμού παραγωγής στο φυσικό περιβάλλον της γύρω περιοχής, κλπ. Οι κατασκευαστικές αυτές τεχνικές ελαχιστοποιούν την όποια οπτική όχληση, η οποία, βέβαια, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέεται ή να συγκρίνεται με την οπτική όχληση, αλλά και την αλλοίωση του περιβάλλοντος χώρου, που επιφέρει η εγκατάσταση ενός μεγάλου υδροηλεκτρικού έργου, ισχύος πολλών δεκάδων ή εκατοντάδων MW.

β) Επίδραση στο χαρακτήρα και τη λειτουργία της περιοχής εγκατάστασης

Στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, έχει γενικευθεί τα τελευταία χρόνια η χρήση ειδικών μέτρων και κατασκευών, καθαρά περιβαλλοντικού χαρακτήρα, όπως είναι οι αυξημένες «οικολογικές» παροχές νερού (δηλ. παροχές δεσμευμένες εκ των προτέρων για μη υδροηλεκτρικές χρήσεις), οι ιχθυόσκαλες ή δίοδοι ιχθύων, οι ειδικές διώρυγες για ποτάμια, αθλήματα (κανόε-καγιάκ, ράφτινγκ), κ.α. Οι κατασκευές αυτές επιτρέπουν την αδιατάρακτη συνέχιση των ήδη υφιστάμενων, πριν από την εγκατάσταση ενός μικρού ΥΗΕ, λειτουργιών και δραστηριοτήτων σε μία περιοχή, καθώς και την ανάπτυξη νέων, όπως είναι ο οικολογικός τουρισμός, κ.ά.

γ) Θόρυβος

Η χρήση ηλεκτροπαραγωγών μονάδων υψηλής τεχνολογίας και πολύ χαμηλού θορύβου στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (υδροστρόβιλοι, γεννήτριες, κλπ.) περιορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την οποιαδήποτε ηχητική όχληση από τη λειτουργία τους [14].

6.4.4. Συμπεράσματα

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην σημασία που έχει για ένα μικρό ΥΗΕ, τόσο στην διαμόρφωση και διαστασιολόγηση του αλλά κυρίως στην οικονομική βιωσιμότητα του η σωστή μελέτη, στις διάφορες φάσεις της, η οποία για τους λόγους αυτούς θα πρέπει να ανατίθεται σε μελετητές που γνωρίζουν το αντικείμενο. Όμως το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την προηγούμενη ανάλυση είναι, ότι υπάρχουν οι προϋποθέσεις για την αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού της Ελλάδας, τουλάχιστον όσον αφορά τις θέσεις που έχουν ήδη αξιολογηθεί. Υπάρχει δηλαδή το νομικό πλαίσιο, η ώριμη τεχνολογία, τα οικονομικά κίνητρα, κλπ. Τα έργα που θα τύχουν επιδότησης μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας θα παίξουν τον ρόλο του οδηγού με την έννοια, ότι η σωστή κατασκευή και λειτουργία τους θα ενθαρρύνει ή θα αποθαρρύνει, ανάλογα με τα αποτελέσματα, την περαιτέρω αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού της χώρας μας [16].

6.5 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας και η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης, η οποία προκαλεί τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Συνήθως όμως, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο, και με την έννοια αυτή θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο από τώρα και στο εξής.

6.5.1 Σύντομο ιστορικό της γεωθερμίας

Η παρουσία ηφαιστείων, θερμών πηγών και άλλων επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας είναι αυτή που οδήγησε τους προγόνους μας στο συμπέρασμα ότι το εσωτερικό της γης είναι ζεστό. Όμως μόνο κατά την περίοδο μεταξύ του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα, όταν δηλαδή κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλεία που εξορύχθηκαν σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, οι άνθρωποι, με τη βοήθεια κάποιων απλών φυσικών παρατηρήσεων, κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος.

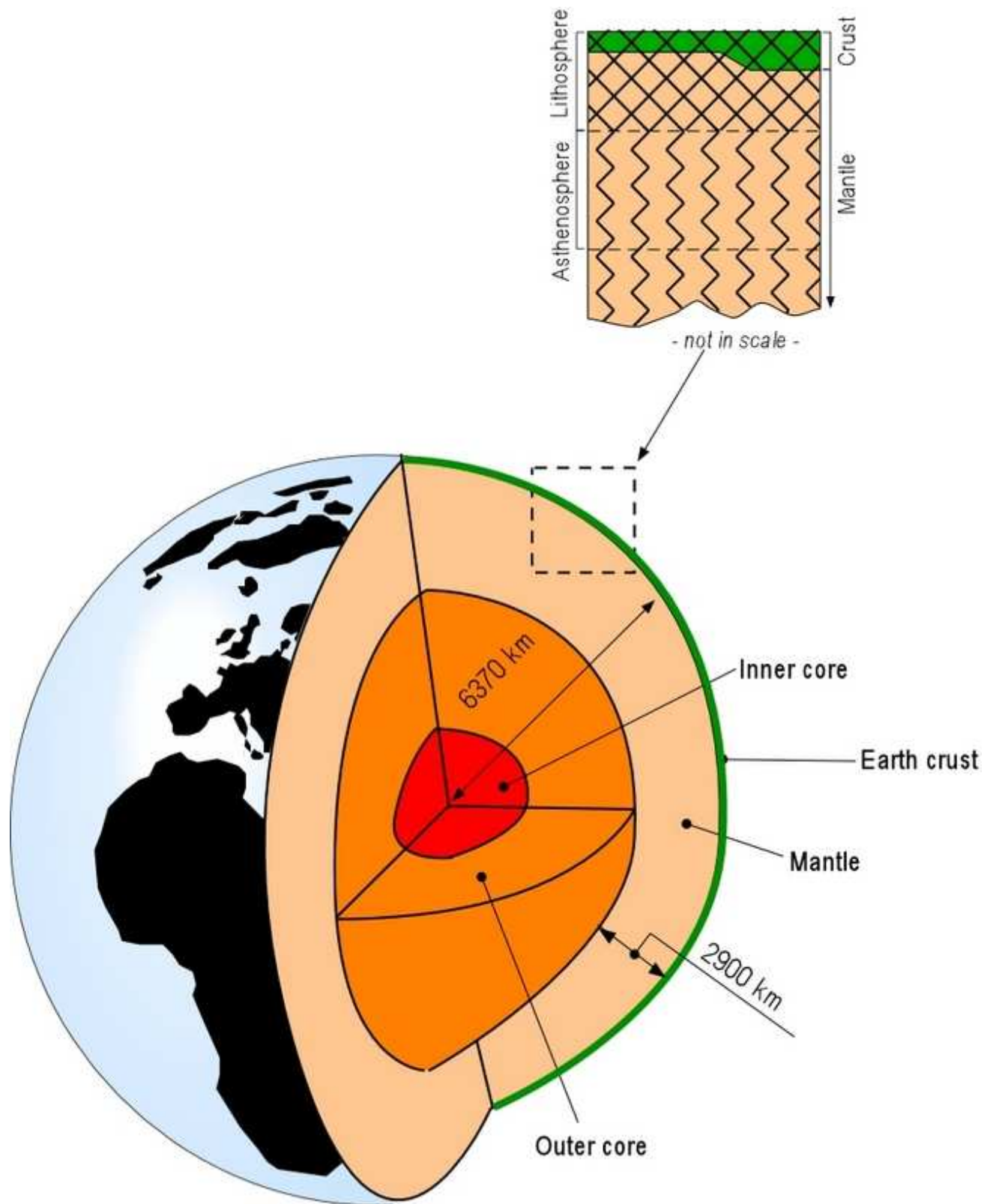
Οι πρώτες μετρήσεις με θερμομέτρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας. Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξη της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20^ο αιώνα με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας». Πράγματι σε όλα τα σύγχρονα πρότυπα (μοντέλα) της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η θερμότητα που συνεχώς παράγεται από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου (U^{238} , U^{235}), του θορίου (Th^{232}) και του καλίου (K^{40}), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και

άλλες δυναμικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια» από την εποχή δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη. Μέχρι τη δεκαετία του 1980 τα μοντέλα αυτά δεν βασίζονταν σε κάποιες ρεαλιστικές θεωρίες. Τότε όμως αποδείχθηκε, ότι αφενός δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας που δημιουργείται στο εσωτερικό της γης και της θερμότητας που διαφεύγει από τη γη προς στο διάστημα, και αφετέρου ότι ο πλανήτης μας ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό του.

Ως μια γενική ιδέα της φύσης και της κλίμακας του εμπλεκόμενου φαινομένου, μπορεί να αναφερθεί η λεγόμενη «θερμική ισορροπία», όπως διατυπώθηκε από τους Stacey and Loper (1988). Σύμφωνα με αυτήν, η ολική ροή θερμότητας από τη γη (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 42×10^{12} W. Από αυτά, 8×10^{12} W προέρχονται από το φλοιό, που αντιπροσωπεύει μόνο το 2% του συνολικού όγκου της γης αλλά είναι πλούσιος σε ραδιενεργά ισότοπα, $32,3 \times 10^{12}$ W προέρχονται από το μανδύα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 82% του συνολικού όγκου της γης, και $1,7 \times 10^{12}$ W προέρχονται από τον πυρήνα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 16% του συνολικού όγκου της γης και δεν περιέχει ραδιενεργά ισότοπα (βλέπε σχήμα 6.11, ένα σχήμα της εσωτερικής δομής της γης). Αφού η ραδιενεργή θερμότητα του μανδύα εκτιμάται σε 22×10^{12} W, η μείωση της θερμότητας στο συγκεκριμένο τμήμα της γης είναι $10,3 \times 10^{12}$ W. Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις και υπολογισμούς, που βασίζονται σε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων, η ολική θερμική ροή της γης είναι περίπου 6% υψηλότερη από τις τιμές που χρησιμοποίησαν οι Stacey and Loper το 1988. Ούτως ή άλλως όμως η διαδικασία ψύξης παραμένει αργή. Η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350°C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια, παραμένοντας περίπου στους 4000°C στη βάση του. Έχει υπολογιστεί, ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των $12,6 \times 10^{24}$ MJ και του φλοιού $5,4 \times 10^{21}$ MJ. Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως μόνο ένα τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources). Πιθανώς, στο άμεσο μέλλον, νέες πρωτοποριακές τεχνικές θα μας προσφέρουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα αυτόν.

Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, στο Larderello της Ιταλίας (εικόνα 6.4).

Η επιτυχία αυτής της πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλλευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμο-ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kW. Σύντομα πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berpu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες [17].



Σχήμα 6.11. Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα [17].



Εικόνα 6.4. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκιπας Piero Ginori Conti [17].

6.5.2. Σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμίας

Μετά το 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στον πίνακα 6.3 αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς: 1995 (6.833 MW), 2000 (7.974 MW) και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000). Στον ίδιο πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (9.028 MW). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως.

Πίνακας 6.3. Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως το 2000 και στις αρχές του 2003 [17].

Χώρα	1995 (MW)	2000 (MW)	1995-2000 (αύξηση σε MW)	% Αύξηση (1995-2000)	2003 (MW)
Αργεντινή	0,67	-	-	-	-
Αυστραλία	0,15	0,15	-	-	0,15
Αυστρία	-	-	-	-	1,25
Κίνα	28,78	29,17	0,39	1,35	28,18

Κόστα Ρίκα	55	142,5	87,5	159	162,5
Ελ Σαλβαδόρ	105	161	56	53,3	161
Αιθιοπία	-	7	7	-	7
Γαλλία	4,2	4,2	-	-	15
Γερμανία	-	-	-	-	0,23
Γουατεμάλα	-	33,4	33,4	-	29
Ισλανδία	50	170	120	240	200
Ινδονησία	309,75	589,5	279,75	90,3	807
Ιταλία	631,7	785	153,3	24,3	790,5
Ιαπωνία	413,7	546,9	133,2	32,2	560,9
Κένυα	45	45	-	-	121
Μεξικό	753	755	2	0,3	953
Νέα Ζηλανδία	286	437	151	52,8	421,3
Νικαράγουα	70	70	-	-	77,5
Παπούα Νέα Γουινέα	-	-	-	-	6
Φιλιππίνες	1.227	1.909	682	55,8	1.931
Πορτογαλία	5	16	11	220	16
Ρωσία	11	23	12	109	73
Ταυλάνδη	0,3	0,3	-	-	0,3
Τουρκία	20,4	20,4	-	-	20,4
Η.Π.Α.	2.816,7	2.228	-	-	2.020
Σύνολο	6.833,35	7.972,5	1.728,54	16,7	8.402,21

Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρουσες τάσεις με το χρόνο. Μεταξύ των ετών 1975 και 1979 η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς σ'αυτές τις χώρες αυξήθηκε από 75 σε 462 MW. Στο τέλος της επόμενης πενταετίας (1984) έφτασε στα 1.495 MW, παρουσιάζοντας ένα ρυθμό αύξησης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων 500% και 223% αντίστοιχα. Στα επόμενα 16 χρόνια, από το 1984 έως το 2000, υπήρξε μια περαιτέρω αύξηση της τάξης του 150%.

Η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4 % στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ [17].

6.5.3. Η φύση των γεωθερμικών πόρων

6.5.3.1 Η θερμική μηχανή της γης

Η γεωθερμική βαθμίδα ορίζεται ως ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης σε συνάρτηση με το βάθος μέσα στο γήινο φλοιό. Σε βάθη που είναι προσβάσιμα με τις σύγχρονες γεωτρητικές μεθόδους, δηλαδή μέχρι τα 10.000 m, η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται περίπου στους 2,5-3°C/100 m. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλ. στους 15°C, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία στο βάθος των 2.000 m θα είναι περίπου 65-75°C, στα 3000 m 90-105°C, κ.ο.κ. για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες η γεωθερμική βαθμίδα αποκλίνει πολύ από τη μέση τιμή. Εκεί όπου το γεωλογικό υπόβαθρο έχει υποστεί πολύ γρήγορη βύθιση και η λεκάνη έχει πληρωθεί με γεωλογικά «πολύ νέα» ιζήματα, η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να είναι μικρότερη και από 1°C/100 m. Αντίθετα, σε μερικές «γεωθερμικές» καλούμενες περιοχές, η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να είναι και δεκαπλάσια της μέσης γήινης.

Λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, προκαλείται ροή θερμότητας από τις βαθιές και θερμές ζώνες του υπεδάφους προς τις ρηχές και ψυχρότερες, τείνοντας έτσι στη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών. Στην πραγματικότητα όμως, όπως πολύ συχνά συμβαίνει στη φύση, κάτι τέτοιο ουδέποτε επιτυγχάνεται πλήρως. Η μέση γήινη ροή θερμότητας στις ηπείρους και τους ωκεανούς είναι 65 και 101 mW/m² αντίστοιχα, οι οποίες, υπολογίζοντας την έκταση των περιοχών, δίνουν ένα παγκόσμιο μέσο όρο της τάξης των 87 mW/m². Οι τιμές αυτές προέκυψαν μετά από 24.774 μετρήσεις σε 20.201 θέσεις, που καλύπτουν το 62% περίπου της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν βέβαια και κάποιοι εμπειρικοί υπολογισμοί που αναφέρονται σε γεωλογικές χαρτογραφικές μονάδες και επιτρέπουν την εκτίμηση της θερμικής ροής χωρίς να προηγηθούν μετρήσεις. Η ανάλυση της θερμικής ροής από τον Pollack (1993) είναι η πιο πρόσφατη και η μόνη σε έντυπη μορφή. Το Πανεπιστήμιο της Βόρ. Ντακότα, επιτρέπει σήμερα την πρόσβαση μέσω του Διαδικτύου σε μια ανανεωμένη βάση δεδομένων θερμικής ροής, που περιλαμβάνει στοιχεία τόσο από ωκεάνιες όσο και από ηπειρωτικές περιοχές.

Η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος, και τα ηφαίστεια, οι θερμοπίδακες (geysers), οι θερμές πηγές κλπ, αποτελούν κατά μία έννοια την ορατή εκδήλωση της θερμότητας του εσωτερικού της γης. Η θερμότητα αυτή όμως προκαλεί και τη δημιουργία άλλων φαινομένων, που είναι λιγότερο διακριτά από τον άνθρωπο, τέτοιου μεγέθους όμως ώστε η ύπαρξή τους να οδηγεί στην παρομοίωση της γης με μια τεράστια «θερμική μηχανή». Τα φαινόμενα αυτά αναφέρονται συνοπτικά στη «θεωρία των τεκτονικών πλακών». Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να τα περιγράψουμε με απλό τρόπο και να αναλύσουμε τη σχέση τους με τους γεωθερμικούς πόρους.

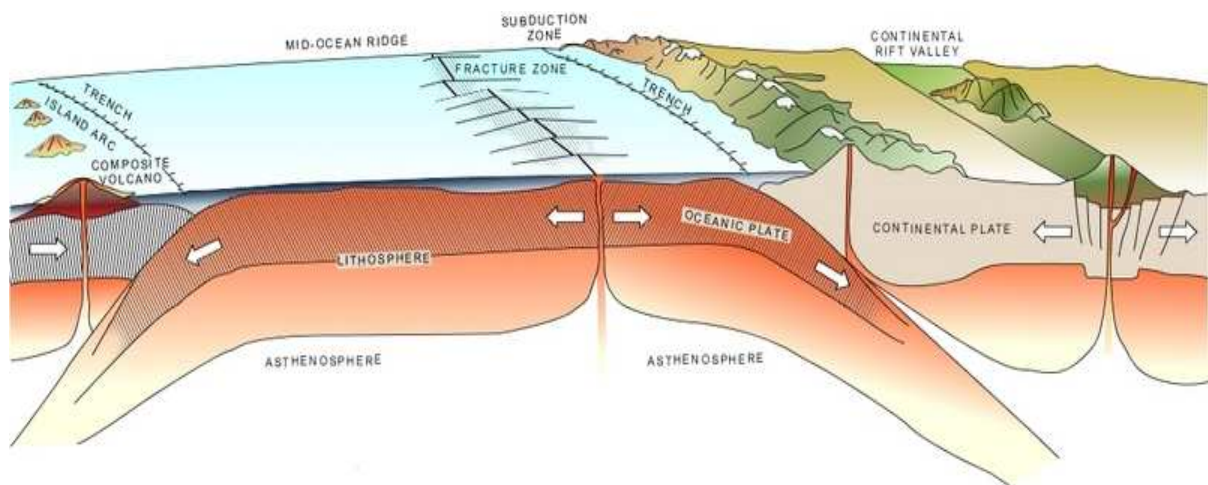
Ο πλανήτης μας αποτελείται από το φλοιό, το πάχος του οποίου κυμαίνεται από 20-65 km περίπου στις ηπειρωτικές περιοχές και 5-6 km στις ωκεάνιες, από το μανδύα,

το πάχος του οποίου είναι κατά προσέγγιση 2.900 km και τον πυρήνα με ακτίνα περίπου 3.470 km (Σχήμα 6.11). Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του φλοιού, του μανδύα και του πυρήνα διαφέρουν από την επιφάνεια προς το κέντρο της γης. Το εξωτερικό στερεό περίβλημα της γης, γνωστό ως λιθόσφαιρα, αποτελείται από το φλοιό και το ανώτερο τμήμα του μανδύα. Έχοντας μεταβαλλόμενο πάχος, από λιγότερο των 80 km στις ωκεάνιες ζώνες μέχρι πάνω από 200 km στις ηπειρωτικές, η λιθόσφαιρα συμπεριφέρεται σαν ένα συμπαγές σώμα. Κάτω από τη λιθόσφαιρα βρίσκεται η ζώνη που ονομάζεται ασθενόσφαιρα, πάχους 200-300 km και με μια λιγότερο «συμπαγή» και περισσότερο «πλαστική» συμπεριφορά. Με άλλα λόγια, στη γεωλογική κλίμακα, όπου ο χρόνος μετρείται σε εκατομμύρια χρόνια, αυτό το τμήμα της γης συμπεριφέρεται σαν ένα ρευστό σε κάποιες διαδικασίες.

Εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα διάφορα τμήματα της ασθενόσφαιρας, δημιουργήθηκαν πριν από μερικές δεκάδες εκατομμύρια έτη μεταφορικές (συναγωγικές) κινήσεις μεταξύ της στερεάς βάσης αυτού του στρώματος και της βάσης του φλοιού και πιθανώς κάποιιοι συναγωγικοί θύλακες. Οι κινήσεις αυτές θεωρούνται τα βασικά αίτια μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών. Είναι εξαιρετικά αργές (λίγα εκατοστά/έτος), παρόλα αυτά σταθερές, λόγω της συνεχούς παραγωγής θερμότητας από τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων και της προσφοράς θερμότητας από τα μεγαλύτερα βάθη της γης. Λόγω των κινήσεων αυτών, τεράστιοι όγκοι βαθύτερων και θερμών λιωμένων πετρωμάτων, με μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς μικρότερο βάρος, ανέρχονται προς την επιφάνεια, ενώ ψυχρότερα και βαρύτερα πετρώματα, που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, βυθίζονται, αναθερμαίνονται και ανεβαίνουν πάλι στην επιφάνεια.

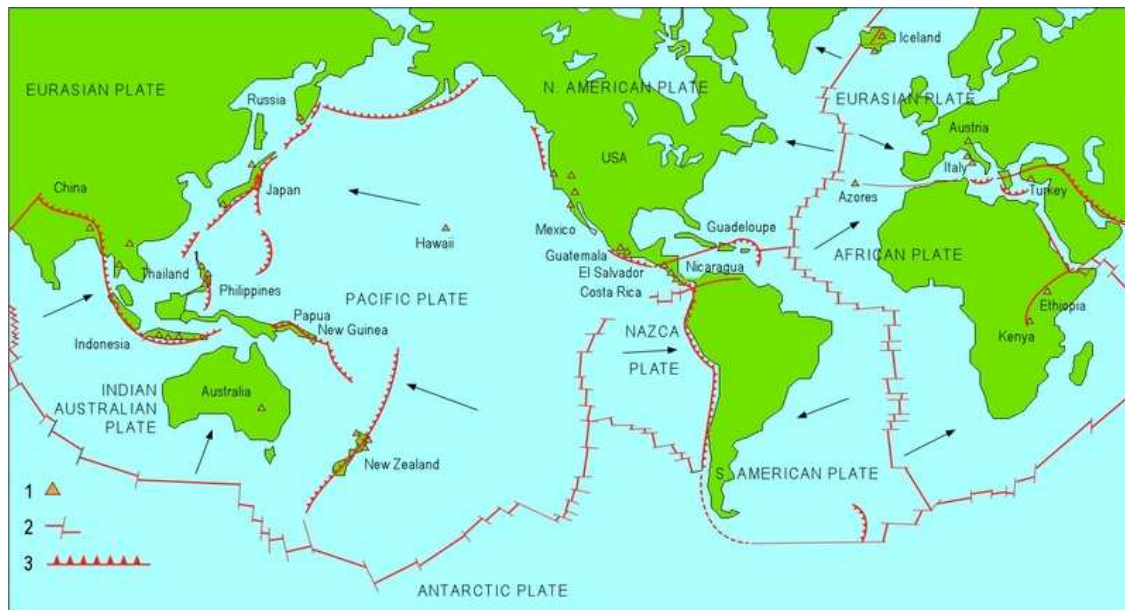
Στις ζώνες μικρού λιθοσφαιρικού πάχους, και κυρίως στις ωκεάνιες περιοχές, η λιθόσφαιρα ωθείται προς τα πάνω και στη συνέχεια κατακερματίζεται εξαιτίας της ανόδου των θερμών, και εν μέρει λιωμένων υλικών της ασθενόσφαιρας, εκεί όπου σχηματίζεται ο ανερχόμενος κλάδος των συναγωγικών θαλάμων. Αυτός ακριβώς είναι ο μηχανισμός που δημιούργησε και συνεχίζει να δημιουργεί τις «εκτεινόμενες ράχες (spreading ridges)», οι οποίες εκτείνονται σε μήκος μεγαλύτερο των 60 km κάτω από τους ωκεανούς. Οι ράχες αυτές σε κάποιες περιοχές, όπως στις Αζόρες και την Ισλανδία, αναδύονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ σε άλλες, όπως στην Ερυθρά Θάλασσα, αναδύονται ανάμεσα στις ηπείρους. Ένα σχετικά μικρό ποσοστό αυτών των ασθενοσφαιρικών λιωμένων υλικών αναδύονται στην επιφάνεια της γης μέσω των κορυφογραμμών των υποθαλάσσιων οροσειρών (ράχων) και, ερχόμενα σε επαφή με το θαλασσινό νερό, ψύχονται, στερεοποιούνται και σχηματίζουν με τον τρόπο αυτό νέο ωκεάνιο φλοιό. Το μεγαλύτερο όμως μέρος του ασθενοσφαιρικού αυτού υλικού χωρίζεται σε δύο κλάδους, οι οποίοι κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις κάτω από τη λιθόσφαιρα, στη θέση ακριβώς των «μεσο-ωκεάνιων ράχων». Η συνεχής δημιουργία νέου φλοιού και η απόκλιση του ωκεάνιου πυθμένα με ένα ρυθμό της τάξης των λίγων εκατοστών ανά έτος, προκαλεί συνεχή αύξηση της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Σε άλλα σημεία της λιθόσφαιρας σχηματίζονται τεράστιες κατακόρυφες διαρρήξεις, εκατέρωθεν των οποίων παρατηρείται οριζόντια μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Οι διαρρήξεις αυτές μπορούν να φτάσουν σε μήκος μερικών χιλιάδων χιλιομέτρων και ονομάζονται «ρήγματα μετασχηματισμού». Τα φαινόμενα αυτά οδηγούν σε μια εύστοχη παρατήρηση: αφού τελικά η συνολική επιφάνεια των λιθοσφαιρικών πλακών παραμένει περίπου σταθερή στο χρόνο, η συνεχής δημιουργία νέου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες και το άνοιγμα των ωκεάνιων τμημάτων θα πρέπει να εξισορροπείται κατά κάποιον τρόπο από συρρίκνωση (καταστροφή) της λιθόσφαιρας σε άλλα σημεία της γης. Αυτό ακριβώς συμβαίνει στις λεγόμενες «ζώνες καταβύθισης», οι μεγαλύτερες από τις οποίες

καταδεικνύονται από τις τεράστιες ωκεάνιες τάφρους, όπως αυτές π.χ. που εκτείνονται κατά μήκος των δυτικών ορίων του Ειρηνικού Ωκεανού και των δυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής. Στις ζώνες καταβύθισης η λιθόσφαιρα κάμπτεται και βυθίζεται κάτω από την παρακείμενη λιθόσφαιρα και φθάνει μέσα στις πολύ θερμές και βαθιές ζώνες της, όπου αφομοιώνεται από το μανδύα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Μέρος του υλικού της λιθόσφαιρας επανατήκεται και ανεβαίνει πάλι προς την επιφάνεια μέσω των ρηγμάτων του φλοιού. Συνέπεια αυτών των φαινομένων είναι η δημιουργία «μαγματικών τόξων» με πολλά ηφαιστεια που εντοπίζονται παράλληλα προς τις τάφρους, στην αντίθετη πλευρά των οροσειρών. Όταν οι τάφροι βρίσκονται κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων, τότε τα τόξα αποτελούνται από αλυσίδες οροσειρών με πολλά ηφαιστεια, όπως είναι οι Άνδεις. Όταν οι τάφροι εντοπίζονται σε ωκεάνιες περιοχές, όπως στον Ειρηνικό ωκεανό, τα μαγματικά τόξα αποτελούνται από πολλά ηφαιστειακά νησιά (π.χ. Ιαπωνία, Φιλιππίνες κλπ.). Στο σχήμα 6.12 περιγράφονται ακριβώς αυτά τα φαινόμενα.



Σχήμα 6.12. Σχηματική τομή που δείχνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες [17].

Οι μεσοωκεάνιες ράχες, τα ρήγματα μετασχηματισμού και οι ζώνες καταβύθισης σχηματίζουν ένα εκτεταμένο δίκτυο που χωρίζει την επιφάνεια της γης σε έξι τεράστιες και πολλές άλλες μικρότερες λιθосφαιρικές περιοχές ή καλύτερα πλάκες (σχήμα 6.13). Εξαιτίας των τεράστιων τάσεων που προκαλούνται από τη γήινη θερμική μηχανή και την ασυμμετρία των ζωνών που δημιουργούν και καταστρέφουν λιθосφαιρικό υλικό, οι πλάκες αυτές κινούνται αργά η μία προς την άλλη, αλλάζοντας συνεχώς τη σχετική τους θέση. Τα όρια των πλακών αντιστοιχούν σε πολύ διαρρηγμένες ζώνες του φλοιού, που χαρακτηρίζονται από έντονη σεισμικότητα, μεγάλο αριθμό ηφαιστειών και, λόγω της ανόδου πολύ θερμών υλικών προς την επιφάνεια, από υψηλή γήινη θερμική ροή [17]. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.13, οι πιο σημαντικές γεωθερμικές περιοχές εντοπίζονται κοντά στα όρια των πλακών.



Σχήμα 6.13. Τεκτονικές πλάκες, μεσωκεάνιες ράχες, ωκεάνιες τάφροι, ζώνες καταβύθισης και γεωθερμικά πεδία. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών προς τις ζώνες καταβύθισης [17].

1. Γεωθερμικά πεδία όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια
2. Μεσωκεάνιες ράχες που τέμνονται από μεγάλα ρήγματα μετασχηματισμού
3. Ζώνες καταβύθισης, όπου η βυθιζόμενη πλάκα κάμπτεται προς τα κάτω και λιώνει μέσα στην ασθενόσφαιρα.

6.5.3.2. Γεωθερμικά συστήματα

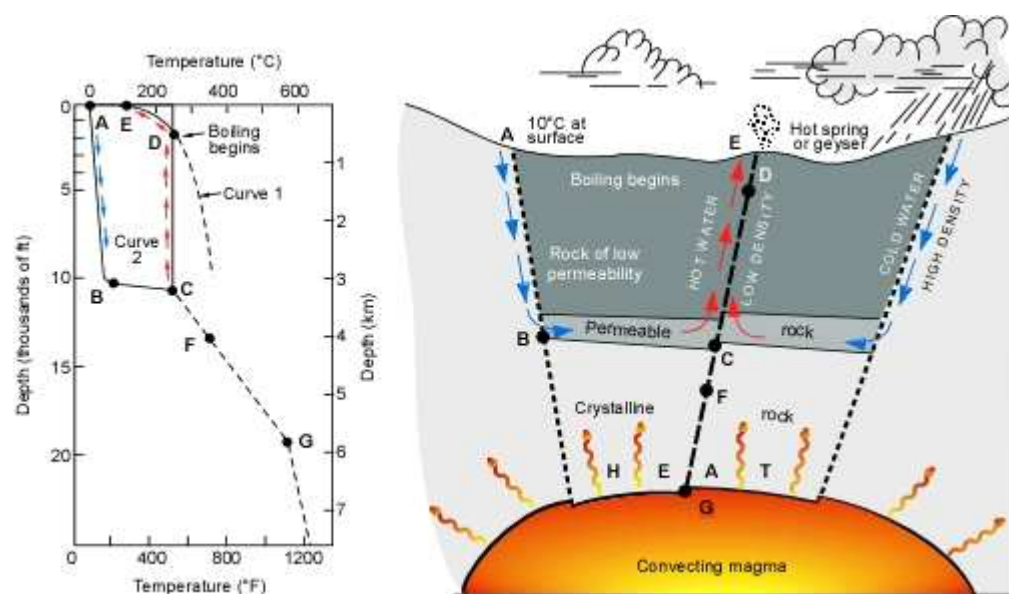
Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται στις περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα, και κυρίως στις περιοχές γύρω από τα περιθώρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής. Στην πρώτη περίπτωση, τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C σε οικονομικά και προσβάσιμα βάθη. Στη δεύτερη περίπτωση, οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές τιμές μέχρι και μεγαλύτερες από 400°C.

Τι είναι όμως ένα «γεωθερμικό σύστημα» και τι συμβαίνει μέσα σε αυτό;

Σχηματικά μπορεί να περιγραφεί ως «ένα σύστημα» που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελείται από «κινούμενο νερό», το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια «πηγή» σε μια «δεξαμενή» θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια. Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία: την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής (>600°C) θερμοκρασίας μαγματική διείσδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) ή, στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα, η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γης, η οποία όπως αναφέρθηκε αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδατοπερατά πετρώματα, που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά αντλούν θερμότητα. Πάνω από τον ταμιευτήρα

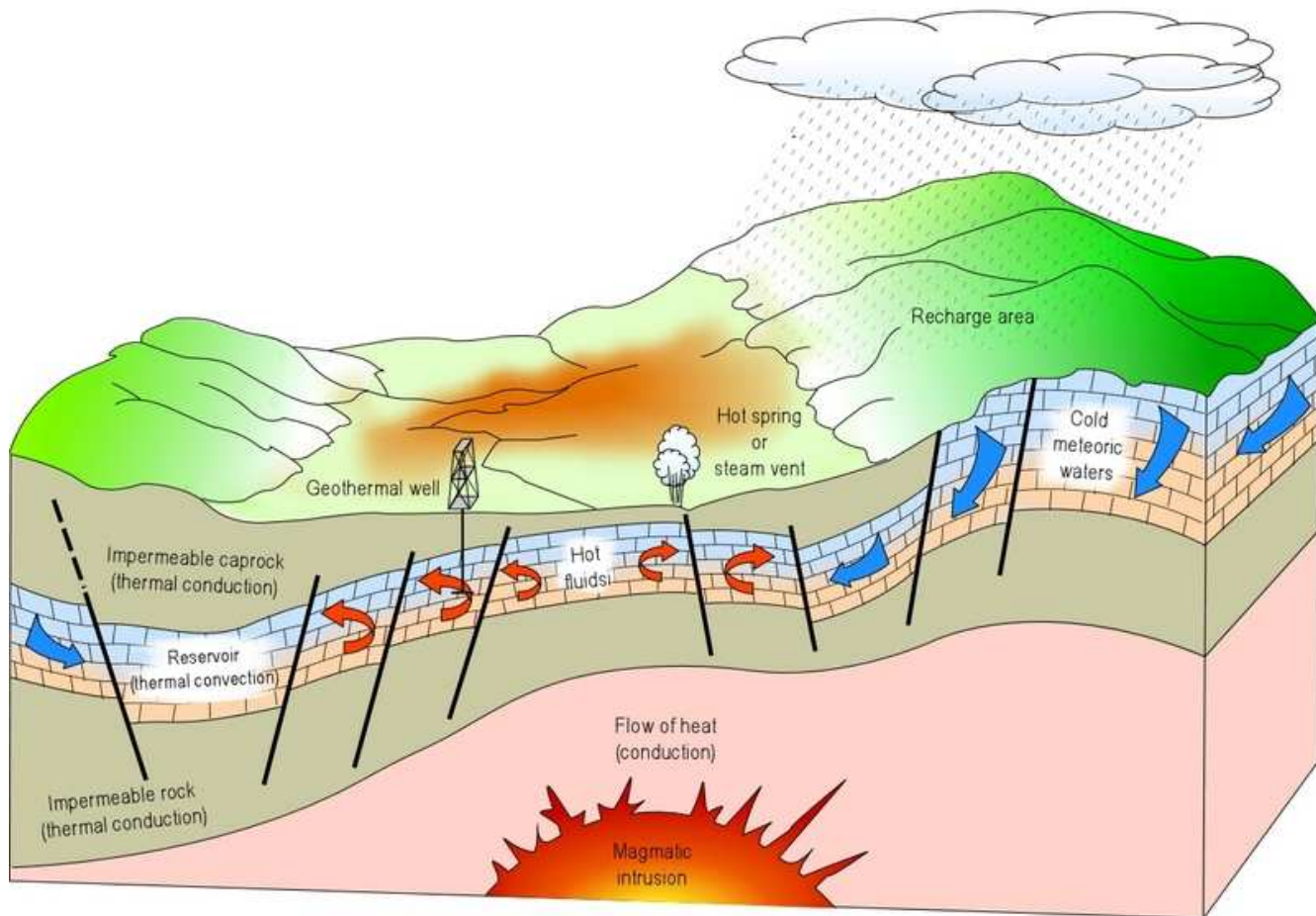
βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό γενικά νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις. Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις μετεωρικής προέλευσης, το οποίο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο σε χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO₂, H₂S, κλπ. Στο σχήμα 6.14 αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικό σύστημα.

Ο μηχανισμός που διέπει τη λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων εν γένει ελέγχεται από τη μεταφορά θερμότητας μέσω της (συναγωγής/κυκλοφορίας) των ρευστών (fluid convection). Στο σχήμα 6.15 παριστάνεται σχηματικά ο μηχανισμός στην περίπτωση ενός υδροθερμικού συστήματος ενδιάμεσης θερμοκρασίας. Η θερμική συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω της θέρμανσης και, κατ' επέκταση, της θερμικής διαστολής των ρευστών σε ένα πεδίο βαρύτητας. Η ενέργεια που προκαλεί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ουσιαστικά η θερμότητα που προσφέρεται από την εστία στη βάση του συστήματος κυκλοφορίας. Η πυκνότητα των ρευστών που θερμαίνονται μειώνεται, οπότε αυτά παρουσιάζουν τάσεις ανόδου προς μικρότερα βάθη, ενώ αντικαθίστανται στη συνέχεια από ρευστά μικρότερης θερμοκρασίας και μεγαλύτερης πυκνότητας, που προέρχονται από τα περιθώρια του γεωθερμικού συστήματος. Λόγω της θερμικής συναγωγής προκαλείται λοιπόν θερμοκρασιακή αύξηση στο ανώτερο τμήμα του γεωθερμικού συστήματος, καθώς οι θερμοκρασίες στα κατώτερα τμήματα μειώνονται.



Σχήμα 6.14. Πρότυπο (μοντέλο) ενός γεωθερμικού συστήματος [17].

Η γραμμή (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού. Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μια τυπικής διαδρομής κυκλοφορίας του ρευστού από το σημείο Α (τροφοδοσία) προς το σημείο Ε (αποφόρτιση).



Σχήμα 6.15. Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος [17].

Οι διεργασίες που μόλις περιγράφηκαν πιθανώς να φαίνονται πολύ απλές, όμως η κατασκευή ενός καλού προτύπου (μοντέλου), το οποίο να αντιστοιχεί σε ένα πραγματικό γεωθερμικό σύστημα, είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Μια τέτοια εργασία απαιτεί πολύπλευρες ικανότητες, ειδικές γνώσεις και μεγάλη εμπειρία, ιδιαίτερα όταν αφορά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Εξάλλου, τα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται στη φύση με πάρα πολλές ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες, οι οποίες σχετίζονται με διάφορους συνδυασμούς γεωλογικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών που μπορεί να οδηγήσουν σε διάφορους τύπους συστημάτων.

Από τα τρία στοιχεία ενός γεωθερμικού συστήματος, η εστία θερμότητας είναι το μόνο που απαραίτητως πρέπει να έχει φυσική προέλευση. Εάν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, τα άλλα δύο στοιχεία μπορεί να είναι και «τεχνητά». Για παράδειγμα, τα γεωθερμικά ρευστά που αντλούνται από τον ταμιευτήρα και χρησιμοποιούνται ως η κινητήρια δύναμη ενός γεωθερμικού ατμοστρόβιλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν μετά την ενεργειακή εκμετάλλευσή τους να επανεισαχθούν στον ταμιευτήρα μέσω συγκεκριμένων γεωτρήσεων επανεισαγωγής (injection wells). Έτσι λοιπόν, η φυσική τροφοδοσία ενός ταμιευτήρα μπορεί να συνοδευθεί και να συμπληρωθεί από μια τεχνητή επανατροφοδοσία.

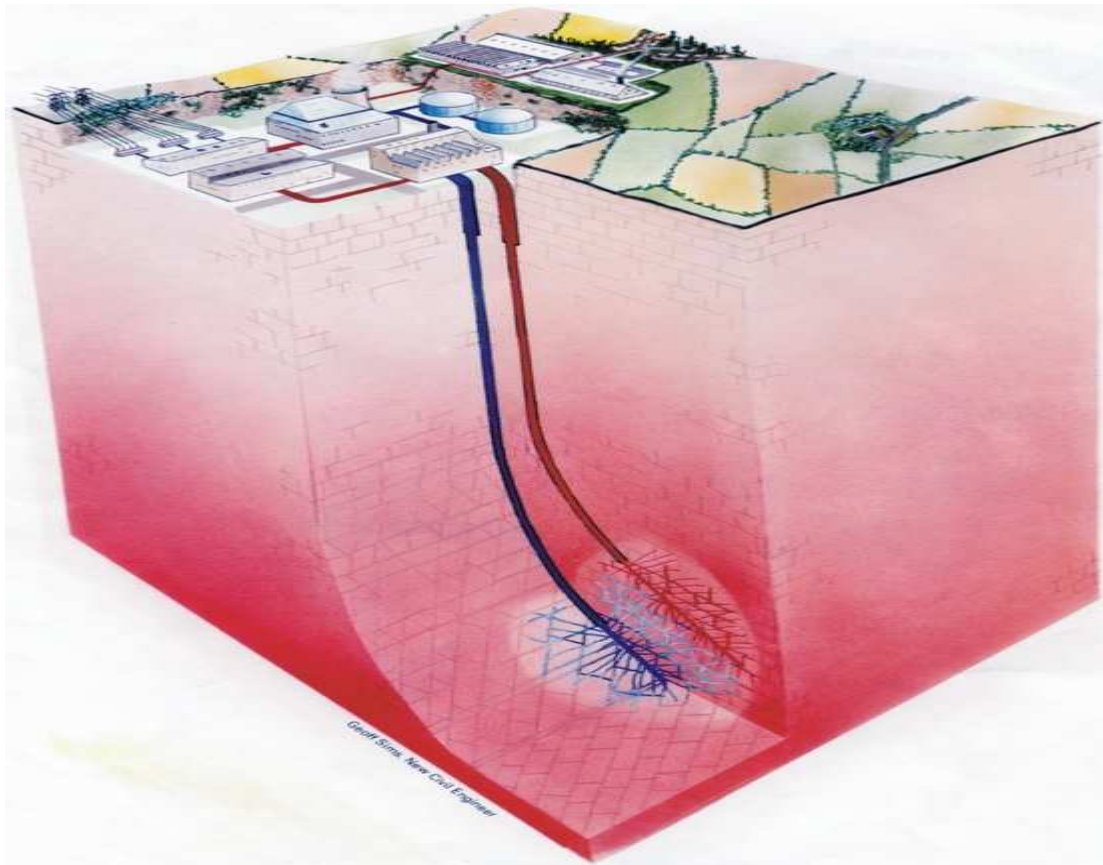
Εδώ και αρκετά χρόνια, η τεχνική επανεισαγωγής των ρευστών στον ταμιευτήρα εφαρμόζεται σε πολλές περιοχές του κόσμου, ως ένα μέσο δραστηκής μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία των γεωθερμικών εγκαταστάσεων. Η χρήση των γεωτρήσεων επανεισαγωγής για τεχνητή επανατροφοδοσία μπορεί

επίσης να βοηθήσει στην ανανέωση και συντήρηση κάποιων «παλιών» ή «εξαντλημένων» γεωθερμικών πεδίων. Ως παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση του γεωθερμικού πεδίου «The Geysers» της Καλιφόρνιας (ΗΠΑ), ενός από τα μεγαλύτερα γεωθερμικά πεδία στον κόσμο, όπου παρατηρήθηκε δραστική μείωση της παραγωγής στα τέλη της δεκαετίας του 1980, λόγω ακριβώς της έλλειψης ρευστών στον ταμιευτήρα. Το 1997 ξεκίνησε ένα πρόγραμμα, το Southeast Geysers Effluent Recycling Project, που αποσκοπούσε στη μεταφορά επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων στο γεωθερμικό πεδίο από μια απόσταση 48 km. Το πρόγραμμα αυτό οδήγησε στην επαναλειτουργία αρκετών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία είχαν εγκαταλειφθεί εξαιτίας της έλλειψης ρευστών. Σε άλλη περίπτωση, και στα πλαίσια του Santa Rosa Geysers Recharge Project, 41,5 εκατομμύρια λίτρα επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων θα αντλούνται κάθε μέρα από τους τοπικούς σταθμούς επεξεργασίας της Santa Rosa και άλλων γειτονικών πόλεων και θα μεταφέρονται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων συνολικού μήκους 66 km στο γεωθερμικό πεδίο «The Geysers», όπου θα χρησιμοποιηθούν για την επανατροφοδοσία του ταμιευτήρα διαμέσου ειδικά διατρηθέντων γεωτρήσεων.

Στα Προγράμματα των αποκαλούμενων Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων (Hot Dry Rocks), για τα οποία έγιναν για πρώτη φορά πειραματικές δοκιμές το 1970 στο Los Alamos του Νέου Μεξικού (ΗΠΑ), τόσο τα ρευστά όσο και ο ταμιευτήρας είναι τεχνητά. Στην περίπτωση λοιπόν των HDR γίνεται, μέσω ειδικών γεωτρήσεων, τεχνητή εισαγωγή νερού με μεγάλη πίεση σε ένα θερμό και συμπαγές πέτρωμα, το οποίο βρίσκεται σε μεγάλο βάθος. Η εισπίεση αυτή προκαλεί στο πέτρωμα «υδραυλική διάρρηξη». Το νερό διαπερνά τις τεχνητές διαρρήξεις και λόγω της επαφής του με μεγάλες επιφάνειες θερμού πετρώματος αντλεί θερμότητα από αυτόν τον μεγάλο σε όγκο σχηματισμό, ο οποίος λειτουργεί ως ένας φυσικός ταμιευτήρας. Στη συνέχεια, ο «ταμιευτήρας» διαπερνάται από μια δεύτερη γεώτρηση, μέσα από την οποία αντλείται το νερό που θερμάνθηκε. Έτσι λοιπόν, το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα αποτελείται (i) από τη γεώτρηση που χρησιμοποιείται για την υδραυλική διάρρηξη, μέσω της οποίας εισπίζεται κρύο νερό στον (ii) τεχνητό ταμιευτήρα και (iii) από τη γεώτρηση άντλησης του θερμού νερού. Όλο αυτό το σύστημα, μαζί με τις εγκαταστάσεις στην επιφάνεια, σχηματίζουν ένα κλειστό κύκλωμα (loop) (σχήμα 6.16).

Το ερευνητικό Πρόγραμμα του Los Alamos αποτέλεσε πρόδρομο για άλλες παρόμοιες εφαρμογές στην Αυστραλία, Γαλλία, Γερμανία, Ιαπωνία και Μεγάλη Βρετανία. Μετά από μια περίοδο όπου κανείς δεν τους έδινε σημασία, οι εφαρμογές αυτές απέκτησαν νέα ώθηση, λόγω της ανακάλυψης σε πρώτη φάση ότι τα βαθιά πετρώματα έχουν ήδη κάποιες περιορισμένες φυσικές διαρρήξεις και στη συνέχεια ότι οι τεχνικές και η μεθοδολογία που πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτώνται κατά πολύ από τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες.

Οι πιο εξελιγμένες επιστημονικά και τεχνολογικά έρευνες στον τομέα των Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων πραγματοποιήθηκαν στην Ιαπωνία και στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα της Αλσατίας (Γαλλία). Πολλά προγράμματα που ξεκίνησαν στην Ιαπωνία τη δεκαετία του 1980 (στις περιοχές Hijiori, Ogachi και Yunomori), είχαν σημαντική χρηματοδότηση από την Ιαπωνική κυβέρνηση και τη βιομηχανία και κατέληξαν σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα, τόσο από επιστημονική όσο και από βιομηχανική άποψη.



Σχήμα 6.16. Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων σε οικονομική κλίμακα [17].

Από την άλλη, το Ευρωπαϊκό HDR Πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε διάφορες φάσεις και περιέλαβε την κατασκευή δύο γεωτρήσεων, η μία από τις οποίες έφτασε τα 5.060m βάθους. Οι υδραυλικές δοκιμές και μετρήσεις, όπως εξάλλου και οι γεωφυσικές διασκοπήσεις, κατέληξαν σε καλά και πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν, το Ευρωπαϊκό HDR Πρόγραμμα φαίνεται να είναι για την ώρα το πιο πετυχημένο.

Επειδή η γεωθερμική ενέργεια περιγράφεται ως ανανεώσιμη (renewable) και αιφορική (sustainable), είναι σημαντικό να διαχωρίσουμε τις δύο αυτές έννοιες: Ο όρος «ανανεώσιμη» περιγράφει μια ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η «αιφορία» τον τρόπο με τον οποίο αυτός αξιοποιείται.

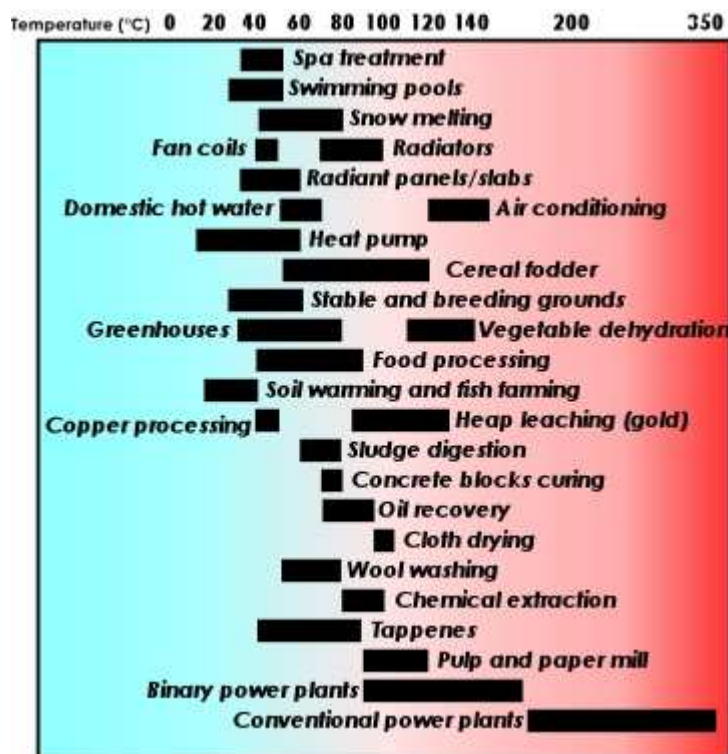
Το πιο σημαντικό κριτήριο για την ταξινόμηση της γεωθερμικής ενέργειας στις ανανεώσιμες πηγές είναι ο ρυθμός επαναφόρτισης του ενεργειακού συστήματος. Κατά την εκμετάλλευση ενός φυσικού γεωθερμικού συστήματος, η επανατροφοδοσία επιτυγχάνεται με την αναπλήρωση του θερμού νερού στον ταμειυτήρα στο ίδιο χρονικό διάστημα, στο οποίο γίνεται η παραγωγή των θερμών ρευστών. Αυτή ακριβώς η διαδικασία δικαιολογεί την ταξινόμηση της γεωθερμικής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην περίπτωση των θερμών ξηρών πετρωμάτων και κάποιων θερμών εγκλωβισμένων υδροφόρων σε ιζηματογενείς λεκάνες, η ενεργειακή φόρτιση ελέγχεται αποκλειστικά από την αγωγή θερμότητας, η οποία είναι μια ιδιαίτερος αργή διαδικασία. Για το λόγο αυτό, ίσως θα έπρεπε τα συστήματα αυτά να κατατάσσονται στις πεπερασμένες πηγές ενέργειας.

Η αειφορία που αφορά την κατανάλωση ενός πόρου εξαρτάται από το αρχικό του μέγεθος, το ρυθμό εκμετάλλευσης (παραγωγής ρευστών) και το ρυθμό κατανάλωσης. Η κατανάλωση μπορεί προφανώς να διατηρηθεί σταθερή για τη χρονική περίοδο κατά την οποία η επαναφόρτιση της πηγής είναι ταχύτερη ή ίση με την αποφόρτιση. Ο όρος αειφόρος ανάπτυξη χρησιμοποιείται από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (World Commission on Environment and Development) για να περιγράψει την ανάπτυξη, η οποία «...ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σημερινής γενιάς, χωρίς όμως να θέτει σε κίνδυνο την κάλυψη των αναγκών των μελλοντικών γενεών..». Σε αυτό το πλαίσιο, η αειφόρος ανάπτυξη δεν υποδηλώνει ότι κάθε δεδομένη πηγή ενέργειας πρέπει να αξιοποιείται με έναν εξολοκλήρου αειφόρο τρόπο, αλλά ότι θα πρέπει να βρεθεί μια «φόρμουλα» αντικατάστασης του πόρου που υφίσταται εκμετάλλευση, έτσι ώστε οι επόμενες γενιές να μπορούν να εξασφαλίσουν για αυτές τους κατάλληλους ενεργειακούς πόρους, ανεξάρτητα αν ο συγκεκριμένος θα έχει εξαντληθεί. Με την έννοια αυτή, οι μελέτες που αφορούν την αειφορική ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου γεωθερμικού πεδίου θα έπρεπε πιθανώς να προσανατολίζονται καταρχήν στην απόκτηση και στη συνέχεια στην εξεύρεση τρόπων διατήρησης ενός σταθερού επιπέδου παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας σε εθνικό ή περιφερειακό πλαίσιο. Αυτό βέβαια ισχύει τόσο για τις ηλεκτρικές όσο και για τις άμεσες χρήσεις, και θα αφορά κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μια περίοδο 300 ετών, με καινούρια γεωθερμικά πεδία να αντικαθιστούν αυτά που έχουν εξαντληθεί [17].

6.5.4. Χρήσεις των γεωθερμικών πόρων

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πιο σημαντική μορφή αξιοποίησης των γεωθερμικών πόρων υψηλής θερμοκρασίας (>150°C). Οι μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας πόροι (<150°C) είναι κατάλληλοι για πολλούς και διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Το κλασικό διάγραμμα του Lindal (σχήμα 6.17), το οποίο δείχνει τις πιθανές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους, ισχύει ακόμη μέχρι σήμερα. Στο διάγραμμα όμως αυτό θα πρέπει να προστεθεί η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις δυαδικού κύκλου (binary cycle) από ρευστά που έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από 85°C. Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι το κατώτατο όριο των 20°C μπορεί να ξεπεραστεί, αλλά μόνο υπό ορισμένες συνθήκες και κυρίως με τη χρήση των αντλιών θερμότητας. Το διάγραμμα του Lindal δίνει έμφαση σε δύο σημαντικές παραμέτρους που αφορούν στην αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων:

(α) με διαδοχικές και συνδυασμένες εφαρμογές μπορούν να αυξηθούν οι πιθανότητες επιτυχούς έκβασης και η αποτελεσματικότητα των γεωθερμικών προγραμμάτων και
 (β) η θερμοκρασία των ρευστών μπορεί να περιορίσει τις πιθανές χρήσεις. Παρόλα αυτά, το πεδίο εφαρμογών μπορεί να διευρυνθεί εάν ο σχεδιασμός ενός προγράμματος είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται κατά περίπτωση [17].



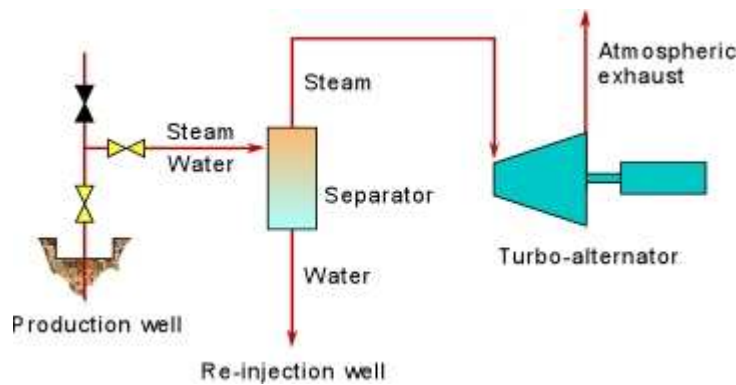
Σχήμα 6.17. Το διάγραμμα του Lindal [17].

6.5.5. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά λαμβάνει χώρα σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς αμοστρόβιλους ή με δυαδικό κύκλο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου.

Οι συμβατικοί αμοστρόβιλοι απαιτούν ρευστά που έχουν θερμοκρασίες τουλάχιστον 150°C. Η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα (condensing type) ή χωρίς (back pressure type), οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με αμοστρόβιλους ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι απλούστερος και φθηνότερος. Ο ατμός που έρχεται, είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό, είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον αμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα (σχήμα 6.18).

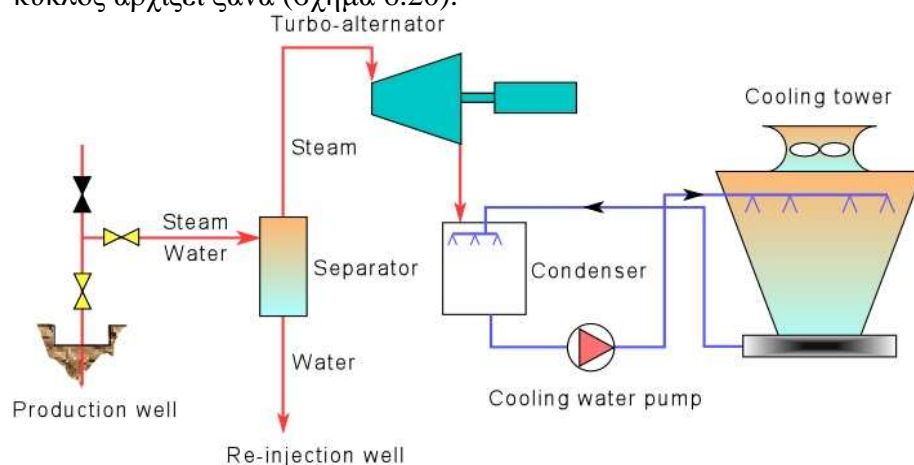
Σε μια τέτοια μονάδα, η κατανάλωση ατμού (με ίδια πίεση εισόδου) ανά παραγόμενη κιλοβατώρα είναι περίπου διπλάσια από αυτήν σε μια μονάδα με συμπυκνωτές. Οι αμοστρόβιλοι ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε πιλοτικές ή εφεδρικές μονάδες, σε περιπτώσεις μικρών παροχών από μεμονωμένες γεωτρήσεις, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρισμού στη φάση των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων κατά την ανάπτυξη του πεδίου. Χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις όπου ο ατμός περιέχει μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων (>12% κατά βάρος). Οι μονάδες διάθεσης του ατμού στην ατμόσφαιρα κατασκευάζονται και εγκαθίστανται πολύ γρήγορα και μπορούν να τεθούν σε λειτουργία μέσα σε περίπου 13-14 μήνες από την ημερομηνία παραγγελίας τους. Τέτοιου είδους μονάδες είναι συνήθως διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (2,5-5 MW).



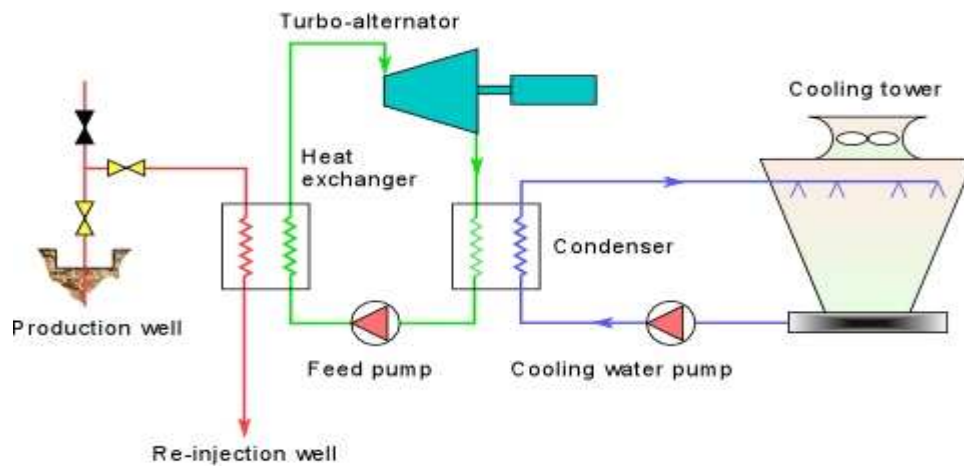
Σχήμα 6.18. Σκαρίφημα γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με διάθεση του ατμού απευθείας στην ατμόσφαιρα. Η ροή του γεωθερμικού ρευστού σημειώνεται με κόκκινο χρώμα [17].

Οι μονάδες με συμπυκνωτές, εξαιτίας του ότι συνοδεύονται από περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό, είναι πιο περίπλοκες στο σχεδιασμό τους από τις προηγούμενες, και ιδιαίτερα εκείνες που είναι μεγαλύτερης ισχύος χρειάζονται διπλάσιο χρόνο κατασκευής και εγκατάστασης. Όμως, η κατανάλωση ατμού είναι περίπου μισή σε σχέση με την περίπτωση των αμοστροβίλων ατμοσφαιρικής εκτόνωσης. Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις με συμπυκνωτές έχουν ισχύ 55-60 MW, όμως πρόσφατα κατασκευάστηκαν και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μονάδες με ισχύ 110 MW (σχήμα 6.19).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας και από το υψηλής θερμοκρασίας νερό που εξέρχεται από τους διαχωριστές στα γεωθερμικά πεδία υγρής φάσης, σημειώνει αξιόλογη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της προόδου που επιτεύχθηκε στην τεχνολογία των δυαδικών ρευστών. Σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον –συνήθως οργανικό- ρευστό (ισο-πεντάνιο), το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και υψηλή τάση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες, αν συγκριθεί με τον υδάτινο ατμό. Το δευτερεύον ρευστό χρησιμοποιείται μέσα σε ένα συμβατικό οργανικό κύκλο Rankine (OCR) ως εξής: το γεωθερμικό ρευστό προσφέρει θερμότητα στο δευτερεύον υγρό μέσω εναλλακτών θερμότητας, οπότε το τελευταίο εξατμίζεται. Ο ατμός που παράγεται κινεί έναν κανονικό στρόβιλο αξονικής ροής, στη συνέχεια ψύχεται και συμπυκνώνεται, οπότε ο κύκλος αρχίζει ξανά (σχήμα 6.20).



Σχήμα 6.19. Σκαρίφημα μιας γεωθερμικής μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας με συμπυκνωτές. Η ροή των ρευστών υψηλής θερμοκρασίας σημειώνεται με κόκκινο χρώμα, ενώ του νερού ψύξης με μπλε [17].



Σχήμα 6.20. Σκαρίφημα μιας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικό κύκλο. Το γεωθερμικό ρευστό σημειώνεται με το κόκκινο χρώμα, το δευτερεύον ρευστό με πράσινο και το νερό ψύξης με μπλε [17].

Εάν γίνει σωστή επιλογή του δευτερεύοντος ρευστού, τα δυαδικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούν γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 85-170°C. Το ανώτερο όριο εξαρτάται από τη θερμική σταθερότητα του οργανικού ρευστού και το κατώτατο όριο από οικονομοτεχνικούς παράγοντες: κάτω από αυτή τη θερμοκρασία, εξαιτίας του μεγέθους και της ικανότητας των απαιτούμενων εναλλακτών, το όλο πρόγραμμα ίσως κατέληγε ασύμφορο από οικονομική άποψη. Εκτός από τις περιπτώσεις χαμηλής-μέσης ενθαλπίας, τα δυαδικά συστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου η εφαρμογή του κύκλου εκτόνωσης των ρευστών (flashing) θα πρέπει να αποφεύγεται (π.χ. για την αποφυγή απόφραξης των γεωτρήσεων). Στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποβρύχιες αντλίες, ώστε να ρευστά να παραμένουν υπό σταθερή πίεση και σε υγρή φάση, ενώ η ενέργεια μπορεί να λαμβάνεται από το ρευστό κυκλοφορίας με τη βοήθεια του δυαδικού συστήματος.

Τα δυαδικά συστήματα κατασκευάζονται συνήθως σε μικρές αρθρωτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των οποίων η ισχύς ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες kW έως λίγα MW. Τέτοια συστήματα εντούτοις έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάζονται σε συστοιχία ώστε τελικά να δημιουργούνται μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνολικής ισχύος κάποιων δεκάδων MW. Το κόστος τους εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, ιδιαίτερα όμως από τη θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών, η οποία επηρεάζει το μέγεθος των στρόβιλων, των εναλλακτών και του συστήματος ψύξης. Το συνολικό μέγεθος των εγκαταστάσεων δεν επηρεάζει κατά πολύ το ειδικό κόστος, καθώς μια σειρά αρθρωτών μονάδων συνδέονται μεταξύ τους, για να επιτευχθεί τελικά μεγαλύτερη συνολική ισχύς.

Η τεχνολογία των δυαδικών συστημάτων είναι ένα οικονομικά συμφέρον και αξιόπιστο μέσο για τη μετατροπή σε ηλεκτρική της ενέργειας των ρευστών ενός γεωθερμικού συστήματος υγρής φάσης με θερμοκρασία μικρότερη από 170°C.

Ένας νέος τύπος δυαδικών συστημάτων, ο επονομαζόμενος κύκλος Kalina που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990, χρησιμοποιεί ως δευτερεύον ρευστό εργασίας ένα μίγμα νερού-αμμωνίας. Το ρευστό αυτό εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες, όταν διέρχεται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης και στη συνέχεια επαναθερμαίνεται πριν εισέλθει στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μετά τη δεύτερη εκτόνωση, οι κορεσμένοι ατμοί μεταφέρονται σε ένα θερμαντήρα και ακολούθως συμπυκνώνονται σε έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή. Ο κύκλος Kalina είναι πιο αποτελεσματικός από τα

υπάρχοντα OCR δυαδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι πολύ πιο περίπλοκος.

Μικρές «κινητές», συμβατικές ή όχι, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσαν όχι μόνο να συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου μερικής αποτυχίας των νέων γεωτρήσεων, αλλά κυρίως να βοηθήσουν στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομονωμένων περιοχών. Το βιοτικό επίπεδο απομονωμένων κοινοτήτων θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά, εάν υπήρχε η δυνατότητα να βασιστούν σε τοπικούς ενεργειακούς πόρους. Η ηλεκτρική ενέργεια θα διευκόλυνε πολλές, φαινομενικά απλοϊκές, αλλά, εξαιρετικά σημαντικές εργασίες, όπως η άντληση νερού για άρδευση και η ψύξη φρούτων και λαχανικών για συντήρηση σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η διευκόλυνση που παρέχουν οι «κινητές» μονάδες γίνεται περισσότερο εμφανής στις περιοχές που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε συμβατικά καύσιμα, και στις κοινότητες για τις οποίες το κόστος σύνδεσής τους με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι εξαιρετικά υψηλό, έστω και αν υπάρχουν γραμμές υψηλής τάσης σε κοντινές αποστάσεις. Τα έξοδα που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση αυτών των μικρών κοινοτήτων είναι απαγορευτικά, καθώς οι μετασηματιστές που χρειάζεται να εγκατασταθούν και να συνδεθούν με δίκτυα υψηλής τάσης κοστίζουν περισσότερο από 675.000 δολάρια ΗΠΑ ο καθένας, ενώ η πιο απλή μορφή τοπικής διανομής ηλεκτρισμού στα 11 kV, με τη χρήση ξύλινων στύλων, κοστίζει το λιγότερο 20.000 δολ.ΗΠΑ/χλμ. (τιμή δολλαρίου 1994). Για σύγκριση το κόστος κεφαλαίου (δολ.ΗΠΑ 1998) ενός δυαδικού συστήματος είναι της τάξης των 1.500-2.500 δολ.ΗΠΑ/εγκατεστημένο kW, μη συμπεριλαμβανομένων των γεωτρητικών δαπανών. Οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ισχύ ανά άτομο στις περιοχές εκτός δικτύου θα κυμαίνεται μεταξύ 0,2 kW στις λιγότερο ανεπτυγμένες και 1 kW ή περισσότερο στις ανεπτυγμένες περιοχές. Μία μονάδα ισχύος 100 kW θα μπορούσε να εξυπηρετήσει 100-500 άτομα, ενώ αντίστοιχα μια μονάδα 1 MW 1000-5000 άτομα.

Στην Ελλάδα η σημαντικότερη προσπάθεια ως τώρα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό σταθμό έγινε στη Μήλο όπου υπάρχει ένα ισχυρό γεωθερμικό πεδίο. Η προσπάθεια όμως αυτή δεν απέδωσε λόγω τεχνικών προβλημάτων και αντιδράσεων των κατοίκων του νησιού [17].

6.5.6. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, όταν το περιβάλλον ήταν περισσότερο «υγιές» και καθαρό σε σχέση με σήμερα και ο άνθρωπος είχε σαφώς λιγότερες γνώσεις σχετικά με οποιαδήποτε περιβαλλοντική απειλή, η γεωθερμική ενέργεια θεωρούνταν ακόμη ως μια «καθαρή ενέργεια». Στην πραγματικότητα όμως, δεν υπάρχει τρόπος παραγωγής ενέργειας ή μετατροπής της από μια μορφή σε άλλη για να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο, που να μην προκαλεί κάποιες άμεσες ή έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακόμη και η παλαιότερη και πιο απλούστερη μορφή παραγωγής θερμικής ενέργειας, δηλαδή η καύση του ξύλου, έχει καταστρεπτικές συνέπειες, ενώ η αποψίλωση των δασών, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα τα τελευταία χρόνια, ξεκίνησε όταν οι πρόγονοί μας έκοψαν τα πρώτα δέντρα για να μαγειρέψουν την τροφή τους και να ζεστάνουν τα σπίτια τους. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έχει όντως κάποιο αντίκτυπο στο περιβάλλον, όμως δεν υπάρχει καμία αμφιβολία, ότι πρόκειται για μια από τις πλέον καθαρές και ελάχιστα έως καθόλου ρυπαντικές μορφές ενέργειας.

Πηγές ρύπανσης

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο βαθμός που μια γεωθερμική εκμετάλλευση επηρεάζει το περιβάλλον είναι ανάλογος με το μέγεθος και την κλίμακα της εκμετάλλευσης. Ο πίνακας 6.4 δίνει συνοπτικά την πιθανότητα και τη σχετική σοβαρότητα των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη δημιουργία και λειτουργία μιας εγκατάστασης για άμεση χρήση της γεωθερμίας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικά συστήματα επηρεάζει το περιβάλλον με τον ίδιο τρόπο όπως οι άμεσες χρήσεις. Οι επιπτώσεις είναι δυνητικά περισσότερες στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μια συμβατική γεωθερμική μονάδα (χωρίς συμπυκνωτές) ή μονάδα με συμπυκνωτές, ειδικά όσον αφορά την ποιότητα του αέρα, όμως μπορεί να διατηρηθεί μέσα σε αποδεκτά όρια.

Πίνακας 6.4. Πιθανότητα εμφάνισης και σοβαρότητα των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από εγκαταστάσεις άμεσης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας [17].

<u>Επίπτωση</u>	<u>Πιθανότητα εμφάνισης</u>	<u>Σοβαρότητα επιπτώσεων</u>
Ρύπανση αέρα	X	M
Ρύπανση υπόγειων νερών	M	M
Ρύπανση υπεδάφους	X	M
Καθίζηση εδάφους	X	X με M
Υψηλά επίπεδα θορύβου	Y	X με M
Εκπομπές από πηγάδια	X	X με M
Πολιτιστική και αρχαιολογική κληρονομιά	X με M	M με Y
Κοινωνικοοικονομικά προβλήματα	X	X
Χημική ή θερμική ρύπανση	X	M με Y
Αποκομιδή στερεών απορριμμάτων	M	M με Y

X=Χαμηλή, M=Μέτρια, Y=Υψηλή

Κάθε μεταβολή στο περιβάλλον θα πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς νόμους και κανονισμούς (οι οποίοι σε κάποιες χώρες είναι πολύ αυστηροί), αλλά και επειδή κάθε φαινομενικά ασήμαντη αλλαγή θα μπορούσε να προκαλέσει αλυσιδωτά φαινόμενα, των οποίων οι επιπτώσεις είναι δύσκολο να προβλεφθούν πλήρως και να αναλυθούν εκ των προτέρων. Για παράδειγμα, μια αύξηση της τάξης των 2-3°C στη θερμοκρασία ενός υδάτινου αποδέκτη, ως αποτέλεσμα της απόρριψης αποβλήτων από μια γεωθερμική εφαρμογή, θα μπορούσε να είναι επιβλαβές στο οικοσύστημά του. Οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί που είναι ευαίσθητοι στις θερμοκρασιακές μεταβολές σταδιακά θα εξαφανίζονταν, αφήνοντας τα μεγαλύτερα ψάρια χωρίς την πηγή τροφής τους. Επίσης η αύξηση της

θερμοκρασίας του νερού θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των αυγών άλλων τύπων ψαριών. Αν τα ψάρια αυτά αποτελούν βρώσιμο είδος και οικονομικό πόρο μιας κοινότητας ψαράδων, τότε η εξαφάνισή τους θα ήταν κρίσιμη για την επιβίωσή της.

Η πρώτη περιβαλλοντική επίπτωση που γίνεται αντιληπτή από τα πρώτα κιόλας στάδια εφαρμογής ενός γεωθερμικού έργου, είναι οι γεωτρήσεις, ανεξάρτητα αν αυτές φτάνουν σε μικρά βάθη και αποσκοπούν στη μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας κατά το στάδιο έρευνας, ή αν είναι γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής. Η εγκατάσταση ενός γεωτρητικού συγκροτήματος, που περιλαμβάνει και όλο το βοηθητικό εξοπλισμό του, πολλές φορές απαιτεί τη διάνοιξη-επισκευή δρόμων για την πρόσβαση στο σημείο των γεωτρήσεων και την κατασκευή μιας γεωτρητικής εξέδρας και πλατειάς. Η τελευταία καλύπτει μια επιφάνεια από 300-500 m², όταν το γεωτρύπανο είναι μικρό και αυτοκινούμενο (μέγιστο βάθος γεωτρήσεων 300-700 m), και μέχρι 1.200-1.500 m² όταν είναι μέτριο έως μεγάλο (μέγιστο βάθος 2.000 m). Οι εργασίες για την εγκατάσταση των γεωτρυπάνων και την κατασκευή των γεωτρήσεων τροποποιούν ελαφρά την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής ενώ δεν αποκλείεται η πιθανότητα πρόκλησης μικρών ζημιών στη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής. Οι απότομες εξόδους ρευστών μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση των επιφανειακών υδάτων, γι' αυτό, εάν αναμένονται υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, θα πρέπει να προβλεφθεί η εγκατάσταση συστήματος «αντικρηκτικού» μηχανισμού ασφάλειας ρευστών (blow-up preventers). Επίσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής των γεωτρήσεων ή των δοκιμών παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος διαφυγής στην ατμόσφαιρα κάποιων ανεπιθύμητων αερίων. Σε κάθε περίπτωση, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις γεωτρητικές εργασίες σταματούν με το πέρας αυτών.

Κατά το επόμενο στάδιο, η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επίσης την πανίδα, τη χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάξει ελαφρώς, παρόλο που σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στο Larderello της Ιταλίας, το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου και αποτελούν πια ένα διάσημο τουριστικό αξιοθέατο της περιοχής.

Περιβαλλοντικά προβλήματα είναι δυνατόν να προκύψουν και στη φάση λειτουργίας μιας γεωθερμικής εγκατάστασης. Τα γεωθερμικά ρευστά (ατμός ή ζεστό νερό) συνήθως περιέχουν αέρια, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρόθειο (H₂S), αμμωνία (NH₃), μεθάνιο (CH₄) και ίχνη από άλλα αέρια, καθώς και διαλυμένες χημικές ενώσεις, των οποίων η συγκέντρωση συνήθως αυξάνει με τη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, το χλωριούχο νάτριο (NaCl), το βόριο (B), το αρσενικό (As) και ο υδράργυρος (Hg) αποτελούν πηγές ρύπανσης αν διατεθούν στο επιφανειακό περιβάλλον. Κάποια γεωθερμικά ρευστά, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση οικισμών στην Ισλανδία, μπορεί να είναι καθαρά νερά, όμως κάτι τέτοιο αποτελεί μια σπάνια περίπτωση. Επίσης, όταν τα νερά απορρίπτονται από τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις έχοντας υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το περιβάλλον, τότε συνιστούν μια πιθανή πηγή θερμικής ρύπανσης.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να αποδειχθεί ένα σχετικά σημαντικό πρόβλημα κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικές γεωθερμικές εγκαταστάσεις. Η εκπομπή υδρόθειου αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ρυπανσης. Το όριο οσμής για την παρουσία υδρόθειου στον αέρα είναι περίπου 5 ppb/m³, ενώ επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου παρατηρούνται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Παρόλα αυτά

υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των εκπομπών του αερίου αυτού, οπότε οι επιπτώσεις του συγκεκριμένου προβλήματος μπορούν να ελεγχθούν σχετικά εύκολα. Στα ρευστά που χρησιμοποιούνται σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί επίσης να βρεθεί διοξείδιο του άνθρακα, όμως, συγκριτικά με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, η απελευθέρωση CO₂ είναι κατά πολύ μικρότερη: 13 έως 380 gr για κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια γεωθερμική εγκατάσταση αντιστοιχεί σε 1.042 gr/kWh που εκπέμπεται από τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν λιγνίτη, 906 gr/kWh από αυτές που χρησιμοποιούν πετρέλαιο και 453 gr/kWh από τις μονάδες φυσικού αερίου. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικά συστήματα και οι εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης οικισμών μπορούν πιθανώς να δημιουργήσουν κάποια μικρότερα προβλήματα, τα οποία όμως μπορούν να ξεπεραστούν με απλό τρόπο, χρησιμοποιώντας κλειστά συστήματα που προλαμβάνουν οποιαδήποτε εκπομπή αερίων.

Η διάθεση των χρησιμοποιηθέντων γεωθερμικών νερών (αλμολοίπων) αποτελεί μια πιθανή πηγή χημικής ρύπανσης. Για το λόγο αυτό, τα γεωθερμικά ρευστά με σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε χημικά στοιχεία όπως βόριο, φθόριο, αρσενικό, θα πρέπει να υφίστανται κάποιου είδους επεξεργασία ή να επανεισάγονται στον ταμιευτήρα ή και τα δύο. Τα γεωθερμικά ρευστά μέσης έως χαμηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες εφαρμογές άμεσων χρήσεων περιέχουν γενικά πολύ χαμηλές ποσότητες χημικών στοιχείων, οπότε η διάθεσή τους πολύ σπάνια συνιστά κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα. Κάποια από αυτά μάλιστα, μπορούν συχνά, αφού υποστούν μια σχετική ψύξη, να διατεθούν ακόμη και σε κάποιον επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη. Η ψύξη των ρευστών μπορεί να γίνει μέσα σε ειδικές δεξαμενές ή τεχνητές λίμνες, ώστε να αποφεύγονται οι τυχόν μεταβολές στο οικοσύστημα των υδάτινων αποδεκτών (ποτάμια, λίμνες, ή και θάλασσα).

Υπάρχει η πιθανότητα η άντληση μεγάλων ποσοτήτων ρευστών από τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες να προκαλέσει φαινόμενα καθίζησης, δηλαδή σταδιακής βύθισης της επιφάνειας του εδάφους. Αυτό αποτελεί ένα μη αναστρέψιμο φαινόμενο, αλλά σε καμία περίπτωση δεν είναι καταστροφικό, καθώς πρόκειται για μια αργή διαδικασία που συνήθως επηρεάζει και «κατανέμεται» σε μεγάλες επιφάνειες. Με το πέρασμα των χρόνων, η καθίζηση μπορεί να φτάσει σε μετρήσιμα επίπεδα, σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη και σε κάποιες δεκάδες εκατοστών ή και μέτρων, οπότε θα πρέπει να παρακολουθείται συστηματικά, καθώς τότε υπάρχει η πιθανότητα να επηρεάσει τη σταθερότητα όχι μόνο των κτιριακών εγκαταστάσεων των γεωθερμικών μονάδων αλλά και όλων των άλλων κτιρίων στην περιοχή. Σε πολλές περιπτώσεις η καθίζηση μπορεί να αποτραπεί, ή να μειωθεί σημαντικά, με την επανεισαγωγή των χρησιμοποιηθέντων γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα από τον οποίο προέρχονται.

Η απόληψη και η επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών μπορεί να προκαλέσει ή να αυξήσει τη συχνότητα των σεισμικών φαινομένων σε κάποιες περιοχές. Όμως, πρόκειται για μικροσεισμικά γεγονότα, που μπορούν να γίνουν αντιληπτά μόνο από λεπτομερή καταγραφικά όργανα. Η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων είναι απίθανο να προκαλέσει μεγάλα σεισμικά συμβάντα, και μέχρι στιγμής τίποτε τέτοιο δεν έχει γίνει γνωστό σε κάποιο γεωθερμικό πεδίο.

Ο θόρυβος που συνδέεται με τη λειτουργία των γεωθερμικών εγκαταστάσεων, θα μπορούσε να αποτελέσει πρόβλημα μόνο στις εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά τη φάση παραγωγής. Πρόκειται για το θόρυβο που προκαλείται από τη μεταφορά του ατμού μέσα από τους σωλήνες και στην περιστασιακή απόρριψή του στο περιβάλλον. Όμως τα συγκεκριμένα επίπεδα

θορύβου είναι συνήθως αποδεκτά. Στην εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής, η κύρια πηγή θορύβου προέρχεται από τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης, τον εκτοξευτή ατμού και το βόμβο των ατμοστροβίλων. Ο θόρυβος που προκαλείται από τις εφαρμογές άμεσης χρήσης της γεωθερμίας είναι συνήθως αμελητέος [17].

6.6. ΒΙΟΜΑΖΑ

Βιομάζα είναι η μάζα βιολογικών υλικών που προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και από βιολογικούς μετασχηματισμούς της ύλης. Ετυμολογικά η βιομάζα προέρχεται από τη λέξη βίος (ζωή) και τη λέξη μάζα (ύλη).

Η βιομάζα αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται.

Η βιομάζα βρίσκει πολλές εφαρμογές τόσο στις αναπτυσσόμενες χώρες όπως:

- A) Χρήση σε υλικά κατασκευών
- B) Παραγωγή ζωοτροφών
- Γ) Παραγωγή λιπασμάτων
- Δ) Παραγωγή ενέργειας κ.ά.

όσο και στις ανεπτυγμένες χώρες βρίσκει επίσης πολλές εφαρμογές όπως:

- A) Παραγωγή ενέργειας
- B) Παραγωγή χαρτιού
- Γ) Χρήση σε υλικά κατασκευών κ.ά.

Τη βιομάζα μπορούμε να τη κατατάξουμε σε διάφορες κατηγορίες όπως:

1. Δασικές φυτείες (ξυλώδης βιομάζα)
2. Αγροτο-βιομηχανικές φυτείες (ξυλώδης βιομάζα)
3. Δένδρα εκτός των δασών (ξυλώδης βιομάζα)
4. Αγροτικές φυτείες (μη ξυλώδης βιομάζα)
5. Υπολείμματα αγροτικών φυτειών (μη ξυλώδης βιομάζα)
6. Υπολείμματα βιομηχανικής επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων (μη ξυλώδης βιομάζα)
7. Απόβλητα ζώων και ανθρώπων

Η βιομάζα των ανωτέρω κατηγοριών βρίσκει πολλές χρήσεις είτε για παραγωγή τροφίμων είτε για παραγωγή ενέργειας είτε για άλλους σκοπούς. Η χρήση της βιομάζας για κάποιο σκοπό εξαρτάται από διάφορους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες που διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Οι τεχνολογίες επίσης αξιοποίησης της βιομάζας εξαρτώνται από το τεχνολογικό και οικονομικό επίπεδο ανάπτυξης της χώρας [18].

6.6.1. Γενικά χαρακτηριστικά βιομάζας

α) Το ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας

Μία από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις της βιομάζας, ιδίως σε υπανάπτυκτες ή αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου, είναι για παραγωγή ενέργειας. Οι αναπτυσσόμενες χώρες παράγουν περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας τους από βιομάζα. Περίπου 2,5 δις άνθρωποι ουσιαστικά εξαρτώνται από τη βιομάζα για την κάλυψη των αναγκών τους σε θέρμανση, φωτισμό και μαγείρεμα. Αλλά και στις ανεπτυγμένες χώρες η βιομάζα καλύπτει σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών τους.

β) Παραγωγή της βιομάζας

Η βιομάζα παράγεται με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης κατά τη διάρκεια της οποίας το CO₂ μετατρέπεται σε οργανικές ενώσεις με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας και παρουσία χλωροφύλλης, σύμφωνα με την αντίδραση:



Το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε χημική ενέργεια στη βιομάζα είναι συνήθως μικρότερο του 1%.

Η θερμική ενέργεια που αποδίδει η βιομάζα κατά την καύση της εξαρτάται από τη θερμογόνο δύναμη της που είναι συνάρτηση της περιεκτικότητάς της σε άνθρακα.

Η παραγωγή της βιομάζας εξαρτάται από διάφορους κλιματικούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

1. η ηλιακή ακτινοβολία
2. οι βροχοπτώσεις
3. η θερμοκρασία.

Από τους τρεις αυτούς παράγοντες οι βροχοπτώσεις επηρεάζουν πιο πολύ την παραγωγή βιομάζας καθώς διαστήματα ξηρασίας επιδρούν αρνητικά στην παραγωγή της. Σημαντικοί παράγοντες για την παραγωγή της είναι και:

4. η συγκέντρωση CO₂ της ατμόσφαιρας
5. η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών.

γ) Ενεργειακή χρήση βιομάζας

Η χρήση της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 4 ενότητες [18]:

- 1) Καύσιμα από το ξύλο:
 - α. Κασσόξυλα
 - β. Κάρβουνο
 - γ. Υπολείμματα ξύλου, υπολείμματα δασών
- 2) Αγροτικά απόβλητα και παραπροϊόντα, απόβλητα γεωργικών βιομηχανιών
- 3) Απόβλητα ζώων, ύψυ αστικών λυμάτων, οργανικό μέρος σκουπιδιών
- 4) Ενεργειακές φυτείες

Το ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας μετριέται με τη καθαρή θερμιδική της αξία.

δ) Μετατροπές της βιομάζας

Μόνο λίγοι τύποι της βιομάζας όπως το ξύλο μπορούν να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας με καύση για παραγωγή ενέργειας. Συνήθως απαιτείται η επεξεργασία και ο εξευγενισμός της βιομάζας για τη μετατροπή της σε χρήσιμο καύσιμο.

Διακρίνουμε τρεις κατηγορίες διεργασιών επεξεργασίας της βιομάζας [18]:

1. Τη θερμοχημική επεξεργασία. Περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες:
 - Ανθρακοποίηση π.χ. παραγωγή κάρβουνου.
 - Πυρόλυση π.χ. παραγωγή υδρολυτικών ελαίων.
 - Αεριοποίηση π.χ. παραγωγή αερίου.
2. Τη βιολογική επεξεργασία. Περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες:
 - Αναερόβια ζύμωση π.χ. παραγωγή βιοαερίου.
 - Υδρόλυση-αναερόβια ζύμωση π.χ. παραγωγή αιθανόλης.
3. Τη χημική επεξεργασία. Περιλαμβάνει την:

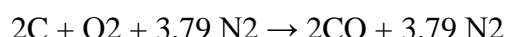
-Εκχύλιση ελαίων και εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων (π.χ. παραγωγή βιολογικού καυσίμου).

Στη συνέχεια αναφέρεται μόνο η θερμοχημική επεξεργασία της αεριοποίηση της βιομάζας.

6.6.2. Αεριοποίηση της βιομάζας

Η αεριοποίηση της βιομάζας περιλαμβάνει τη μερική καύση της (με αναλογία αέρα μικρότερη από την στοιχειομετρική) σε κατάλληλους αντιδραστήρες.

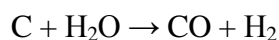
Η βασική χημική αντίδραση κατά την αεριοποίηση της βιομάζας(που συμβολίζεται ως C στις επόμενες ενώσεις, η οποία γίνεται σε περισσότερα του ενός στάδια, είναι:



Το αέριο που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο και έχει την εξής σύνθεση:

CO ₂	3%
C _x H _y	< 0,1%
O ₂	0.9%
CO	28,7%
H ₂	3,8%
CH ₄	0,2%
N ₂	63%

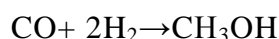
Για τη βελτίωση της θερμοδικής αξίας του παραγομένου αερίου η βιομάζα μπορεί να είναι υγρή, οπότε γίνεται ταυτόχρονα και η αντίδραση:



Στην περίπτωση αυτή αναφερόμαστε στην υγρή αεριοποίηση της βιομάζας. Οι θερμοκρασίες για την αεριοποίηση της βιομάζας είναι υψηλότερες από 900°C και για τη βελτίωση της θερμοδικής αξίας του παραγομένου αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξυγόνο αντί για αέρα [18].

6.6.2.1. Παραγωγή μεθανόλης από βιομάζα

Για την παραγωγή της μεθανόλης απαιτείται βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνη. Η τεχνολογία παραγωγής μεθανόλης είναι τελείως διαφορετική από τις βιολογικές διεργασίες που οδηγούν στην παραγωγή αιθανόλης. Η μετατροπή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο η βιομάζα αεριοποιείται και το μίγμα των αερίων που λαμβάνεται πρέπει να είναι κατάλληλο για τη σύνθεση της μεθανόλης. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η σύνθεση της μεθανόλης σύμφωνα με την αντίδραση :



Η αντίδραση γίνεται στους 300°C και σε πίεση 150 atm. Η παραγωγή της μεθανόλης από βιομάζα για να είναι οικονομικά βιώσιμη απαιτεί εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης κλίμακας, σε αντίθεση με την παραγωγή αιθανόλης και βιοαερίου που μπορούν να γίνουν και σε μικρή κλίμακα [18].

6.6.2.2. Συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας

Η παραγωγή καύσιμου αερίου από βιομάζα και γενικά από ανθρακούχες πρώτες ύλες είναι μια αρκετά παλιά τεχνολογία, η οποία εφαρμόστηκε εμπορικά στις αρχές του 19ου αιώνα. Τα συστήματα αυτά διαδόθηκαν αρκετά τη περίοδο 1920-1940 αλλά μετά το πόλεμο εγκαταλείφθηκαν, όταν επεκράτησαν τα φθηνά υγρά πετρελαϊκά καύσιμα.

Οι ενεργειακές κρίσεις που άρχισαν τη δεκαετία του '70 έφεραν στο προσκήνιο πάλι τη τεχνολογία αυτή που θεωρήθηκε ικανοποιητική για την αξιοποίηση του ενδογενούς ενεργειακού δυναμικού της βιομάζας, κυρίως στις φτωχές χώρες του πλανήτη. Παρά τη διάδοση που γνώρισαν τα συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας μόνο λίγα συστήματα με ισχύ κάτω του 1 MW μπορούν να θεωρηθούν επιτυχημένα. Σε μεγαλύτερη όμως κλίμακα, πιο σύνθετα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αεριοποιητές βιομάζας μπορούν να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες:

- αεριοποιητές σταθεράς κλίνης
- αεριοποιητές ρευστοστερεάς κλίνης

Οι αεριοποιητές σταθεράς κλίνης διακρίνονται για την απλότητα της κατασκευής τους, έχουν υψηλές αποδόσεις και μπορούν να αεριοποιήσουν βιομάζα που έχει υγρασία μέχρι 60%. Σαν μειονεκτήματα τους μπορούν να θεωρηθούν η μεγάλη παραγωγή πίσσας, η έντονη διάβρωση των μηχανημάτων, οι πιθανές εκρήξεις από τη διαφυγή αερίου και τα προβλήματα από τη κακή διακίνηση του καυσίμου.

Οι αεριοποιητές ρευστοστερεάς κλίνης αναπτύχθηκαν αρχικά για να αντιμετωπίσουν τα λειτουργικά προβλήματα που παρουσίαζαν οι αεριοποιητές σταθεράς κλίνης. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογές σε μεγαλύτερη κλίμακα και η θερμοκρασία αεριοποίησης είναι σχετικά χαμηλή: 750-900°C σε σύγκριση με τη θερμοκρασία των 1.200-1.500°C που αναπτύσσεται στους αεριοποιητές σταθεράς κλίνης. Τα πλεονεκτήματα των αεριοποιητών ρευστοστερεάς κλίνης είναι:

α) Απλή κατασκευή λόγω των υψηλών ρυθμών αντίδρασης και ανταλλαγής θερμότητας

β) Ευελιξία σε αλλαγές στην υγρασία και στη σύσταση του καυσίμου

Τα μειονεκτήματα τους είναι:

α) Υψηλή περιεκτικότητα σε πίσσα και σκόνη του παραγόμενου αερίου

β) Υψηλή θερμοκρασία του παραγόμενου αερίου

γ) Ατελής καύση της βιομάζας

δ) Σύνθετη λειτουργία και ανάγκη ελέγχου της παροχής του αέρα και της βιομάζας [18].

6.6.2.3. Επεξεργασία του παραγόμενου αερίου

Πριν τη χρήση του παραγόμενου αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας, πρέπει να καθαριστεί από τη πίσσα, τη σκόνη και τα διάφορα μέταλλα. Όταν το αέριο χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμότητας οι απαιτήσεις για το καθαρισμό του αερίου δεν είναι τόσο αυστηρές όσο όταν αυτό χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι απαραίτητες διεργασίες επεξεργασίας της αεριοποιημένης βιομάζας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρονται παρακάτω [18] :

α) Απομάκρυνση της πίσσας

Ο απλούστερος τρόπος για την απομάκρυνση των πηκτών είναι η ψύξη του αερίου οπότε οι πηκτές συμπυκνώνονται. Η ψύξη μπορεί να επιτευχθεί είτε με αέρα είτε με

τη διέλευση του αερίου μέσα από ύδατοπλυντηρίδες. Ταυτόχρονα απομακρύνονται τα αέρια σωματίδια καθώς και διάφορα ρυπογόνα αέρια όπως HCl , οξείδια του θείου, κ.α. Στη περίπτωση των υδατοπλυντηρίδων μετά την απομάκρυνση των πρισών απαιτείται επεξεργασία πριν τη διάθεση του μίγματος πίσσας-νερού. Μια άλλη μέθοδος απομάκρυνσης των πρισών περιλαμβάνει τη καταλυτική διάσπαση τους σε υψηλές θερμοκρασίες (600-1000°C). Η μέθοδος αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα, δεν έχει όμως τελειοποιηθεί και συνεπώς δεν βρίσκει ακόμη εμπορικές εφαρμογές.

β) Απομάκρυνση των σωματιδίων

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για το καθαρισμό των καυσαερίων από την καύση της βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση των σωματιδίων από το αέριο που προκύπτει από την αεριοποίηση της. Συνήθως, ένα σύστημα καθαρισμού του αερίου περιλαμβάνει τα εξής:

- ένα κυκλώνα
- ένα συμπυκνωτή για τις πίσσες
- ένα φίλτρο

Το καθαρισμένο αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές Otto και μηχανές diesel. Στον πίνακα 6.5. φαίνονται οι προδιαγραφές για τη χρησιμοποίηση του αερίου σε μηχανές παραγωγής ενέργειας.

Πίνακας 6.5. Προδιαγραφές για τη χρησιμοποίηση του αερίου σε μηχανές παραγωγής ενέργειας [18].

Χαρακτηριστικά	Τιμές
Θερμογόνος δύναμη	>1010 Kcal/Nm ³
Σωματίδια	<50 mg/Nm ³
Μέγεθος σωματιδίων	10 μm
Περιεκτικότητα σε πίσσα	500 mg/Nm ³
HCl	50 ppm
Οξικό οξύ	500 ppm

γ) Αεριοστρόβιλοι

Στους αεριοστρόβιλους ο πεπιεσμένος αέρας (10-25 bar) αντιδρά με το καύσιμο σε ένα καυστήρα και τα θερμά πεπιεσμένα αέρια της καύσης εκτονώνονται στη μηχανή. Τα θερμά καυσαέρια εισέρχονται στον αεριοστρόβιλο σε υψηλές θερμοκρασίες, μέχρι 1.250°C και εξερχόμενα έχουν ακόμη υψηλές θερμοκρασίες 450-700°C. Μικρής και μεσαίας κλίμακας αεριοστρόβιλοι απλού κύκλου έχουν βαθμούς απόδοσης 20-35%, ενώ μεγάλης κλίμακας μπορούν να φθάσουν το 40%. Αξίζει να αναφερθεί ότι το παραγόμενο αέριο από την αεριοποίηση της βιομάζας έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη, 5-7 φορές μικρότερη από εκείνη του φυσικού αερίου. Ο βαθμός απόδοσης των αεριοστροβίλων μπορεί να αυξηθεί με την επαναχρησιμοποίηση των καυσαερίων που, εξερχόμενα του στροβίλου, έχουν ακόμη υψηλές θερμοκρασίες 450-700°C. Αυτά μπορούν σε ένα εναλλάκτη να παράγουν ατμό και στη συνέχεια, με ένα ατμοστρόβιλο, συμπληρωματικά ποσά ενέργειας. Στη περίπτωση αυτή αναφερόμαστε σε αεριοστρόβιλο συνδυασμένου κύκλου.

6.6.2.4. Σύγκριση της καύσης και της αεριοποίησης της βιομάζας

Η βιομάζα έχει ιδιότητες που διαφέρουν από εκείνες των στερεών συμβατικών καυσίμων όπως του άνθρακα. Μία σημαντική διαφορά είναι η υψηλή συγκέντρωση πτητικών συστατικών της βιομάζας, που φθάνουν το 80%, ενώ ο άνθρακας έχει συγκέντρωση πτητικών μέχρι 20%. Τα συστήματα καύσης της βιομάζας, που βασίζονται στο κύκλο του ατμού για παραγωγή ενέργειας, είναι τεχνολογικά ώριμα και βρίσκουν εμπορικές εφαρμογές. Ακόμη και τα πιο σύνθετα συστήματα καύσης της βιομάζας σε ρευστοστερεά κλίνη είναι τεχνολογικά ώριμα σήμερα.

Τα συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας είναι εμπορικά διαθέσιμα. Όμως, οι εφαρμογές τους σε μικρή κλίμακα παρουσιάζουν προβλήματα αξιοπιστίας και χρειάζονται αρκετή παρακολούθηση και επίβλεψη. Τα σύνθετα συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας και παραγωγής ενέργειας καθώς και συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού είναι αρκετά υποσχόμενα μελλοντικά αλλά βρίσκονται στο στάδιο της επίδειξης. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ο καθαρισμός των αερίων σε επαρκή βαθμό ούτως ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές που θέτουν οι κατασκευαστές αεροστρόβιλων για τα αέρια χαμηλής θερμογόνου δύναμης.

Γενικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο κύκλος του ατμού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει υψηλότερη αξιοπιστία αλλά απαιτεί υψηλότερες επενδύσεις. Τα συστήματα αεριοποίησης της βιομάζας και στη συνέχεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν υψηλότερη απόδοση αλλά χαμηλότερη αξιοπιστία [18].

6.6.2.5. Προσπάθειες της Ε.Ε για την ανάπτυξη τεχνολογίας αεριοποίησης της βιομάζας

Η Ε.Ε. στη προσπάθεια της να αναπτύξει τη τεχνολογία αεριοποίησης της βιομάζας και στη συνέχεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρηματοδότησε από το πρόγραμμα Thermie το πιλοτικό σχέδιο ARBRE για τη δημιουργία στην Αγγλία εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την αεριοποίηση της βιομάζας ονομαστικής ισχύος 10 MW, όπου σαν πρώτη ύλη θα χρησιμοποιούνται δασικά υπολείμματα και η βιομάζα ενεργειακής φυτείας. Η φυτεία θα αποτελείται από δενδρύλια ιτιάς, μικρού χρόνου ανάπτυξης, εκτάσεως 10.000 στρεμμάτων. Η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί θα περιλαμβάνει αεριοστρόβιλους και αμοστρόβιλους σε συνδυασμένο κύκλο (ολοκληρωμένη αεριοποίηση βιομάζας-συνδυασμένου κύκλου).

Πιο συγκεκριμένα στο εργοστάσιο αυτό που είναι το πρώτο μεγάλης σχετικά δυναμικότητας που χρησιμοποιεί αυτή τη τεχνολογία στην Ε.Ε. θα :

- Αεριοποιείται η βιομάζα σε αντιδραστήρα ρευστοστερεάς κλίνης σε ατμοσφαιρική πίεση.

- Η παραγόμενη πίσσα θα πυρολύεται χρησιμοποιώντας σαν καταλύτη δολομίτη.

- Το παραγόμενο αέριο θα ψύχεται και θα καθαρίζεται σε σύστημα φίλτρων και πλυντηρίδων.

- Το αέριο στη συνέχεια θα συμπιέζεται, θα καίγεται και θα κινεί ένα αεριοστρόβιλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

- Θερμότητα θα ανακτάται από τα καυσαέρια με ένα εναλλάκτη θερμότητας και θα παράγεται ατμός.

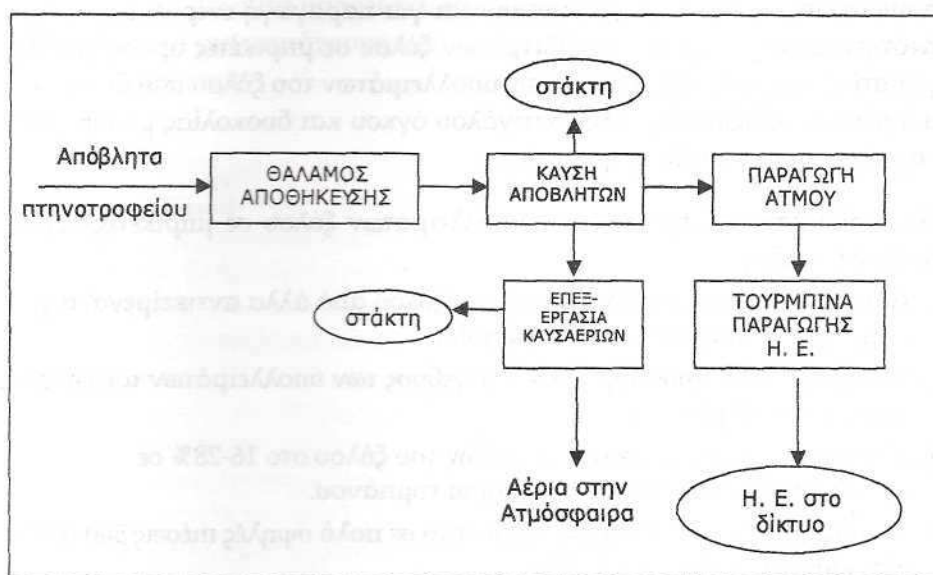
- Επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια θα παράγεται σε ένα αμοστρόβιλο.

Τα πρώτα πέντε χρόνια λειτουργίας του εργοστασίου και έως ότου η φυτεία της βιομάζας θα είναι ικανή να παράγει επαρκείς ποσότητες ξύλου η τροφοδοσία του εργοστασίου θα γίνεται από δασικά υπολείμματα και παραπροϊόντα [18].

6.6.3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα στερεά απορρίμματα πτηνοτροφικών μονάδων

Τα απόβλητα των πτηνοτροφείων περιέχουν πριονίδια ξύλου και άχυρο καθώς και τα κόπρανα των πτηνών και έχουν θερμογόνο δύναμη αρκετά υψηλή.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως φαίνεται στο σχήμα 6.21.



Σχήμα 6.21. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από απόβλητα πτηνοτροφείου [18].

Η καύση των αποβλήτων γίνεται στους 850°C περίπου και ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απόβλητα μετά τη μεταφορά τους από τα πτηνοτροφεία και μέχρι να καούν διατηρούνται σε ένα θάλαμο υπό πίεση προς αποφυγή δυσοσμίων στο περιβάλλον. Τα αέρια από τη καύση των αποβλήτων υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία και συλλέγεται η σκόνη, η οποία είναι πλούσια σε κάλιο και φωσφορικά άλατα.

Η συλλεγόμενη στάχτη από τα φίλτρα επεξεργασίας των αερίων αποβλήτων της καύσης καθώς και από το καυστήρα αποτελεί άριστο λίπασμα, πλούσιο σε κάλιο και φωσφορικά άλατα και χωρίς αζωτούχες ενώσεις, το οποίο πωλείται σαν λίπασμα σε γεωργικές καλλιέργειες.[18]

6.6.4. Επιπτώσεις της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας

6.6.4.1. Οικονομικές επιπτώσεις

Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα βοηθά την αύξηση του εθνικού εισοδήματος, εφόσον ενθαρρύνει την εκμετάλλευση με αποδοτικό τρόπο των αγροεπιβλημάτων ή των υποεκμεταλλεζόμενων αποθεμάτων, όπως τα απόβλητα και τα υπολείμματα που μέχρι σήμερα παρέμειναν αγροεπιβλητά, οι εγκαταλελειμμένες γαίες, κ. ά.

Για τις μικροοικονομικές επιπτώσεις της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας δεν είναι εύκολο να διατυπωθούν γενικοί κανόνες, γιατί το οικονομικό περιβάλλον είναι διαφορετικό σε πολλές χώρες.

Πολλά στοιχεία που υπάρχουν είναι ατεκμηριώτα, ενώ πειραματικές και αρκετές πιλοτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν σε διάφορα μέρη του κόσμου, από τις οποίες αργότερα μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα [18].

6.6.4.2. Κοινωνικές επιπτώσεις

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας έχει θετικές κοινωνικές επιπτώσεις. Έτσι η παραγωγή βιομάζας δημιουργεί απασχόληση στον αγροτικό τομέα, ιδιαίτερα σήμερα που η πράσινη επανάσταση, με την αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία έχει μειώσει την απασχόληση του αγροτικού πληθυσμού [18].

6.6.4.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Κατά τη χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας παρουσιάζονται διάφορα προβλήματα, τα οποία είναι διαφορετικά ανάλογα με το είδος της βιομάζας. Παρουσιάζονται επίσης περιβαλλοντικά οφέλη σε σχέση με τη χρησιμοποίηση συμβατικών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας.

Κατά τη δημιουργία της βιομάζας απορροφάται διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, με συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσης του και τη μείωση της επίτασης του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η καύση της βιομάζας συνεπάγεται έκλυση CO₂. Θεωρείται όμως ότι η βιομάζα έχει ουδέτερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς η έκλυση CO₂ αντισταθμίζεται με την απορρόφηση του κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης για τη δημιουργία ισόποσης βιομάζας. Λόγω του ότι η συγκέντρωση Θείου στη βιομάζα είναι μικρότερη απ' ό,τι στα ορυκτά καύσιμα, η έκλυση SO₂ κατά την καύση της είναι μικρότερη. Συνεπώς η καύση της βιομάζας έχει μικρότερη επίπτωση στο φαινόμενο της όξινης βροχής απ' ό,τι τα ορυκτά καύσιμα.

Κατά την καύση της βιομάζας στα περισσότερα συστήματα επιτυγχάνονται χαμηλές αποδόσεις. Έτσι δημιουργούνται σημαντικές θερμικές απώλειες στο περιβάλλον και συνεπώς προκαλείται θερμική ρύπανση. Ταυτόχρονα εκλύονται σωματίδια, CO και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες.

Όταν χρησιμοποιούνται βιομηχανικά απορρίμματα ή κτηνοτροφικά απόβλητα για παραγωγή ενέργειας πρέπει να προηγείται μια αναερόβια χώνευση. Η ιλύς που παραμένει μετά την χώνευση τους έχει μικρότερο ρυπαντικό φορτίο από τα αρχικά απόβλητα, καθώς οι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις έχουν αποδομηθεί κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης.

Ταυτόχρονα διαπιστώνεται σημαντική μείωση των δυσοσμίων. Το ίδιο συμβαίνει με την ιλύ των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Μετά την αναερόβια χώνευση της είναι σταθεροποιημένη, καθώς οι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις έχουν διασπασθεί σε απλούστερες, και οι δυσοσμίες είναι λιγότερες.

Η δημιουργία ενεργειακών φυτειών και η παραγωγή βιοαιθανόλης προκαλεί υγρά απόβλητα δύσκολα επεξεργάσιμα και με υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Η χρήση όμως της αιθανόλης σαν καύσιμο δημιουργεί λιγότερους αέριους ρύπους απ' ό,τι η βενζίνη. Συμπερασματικά η χρήση της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς έχει θετικές αλλά και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον [18].

6.6.5. Εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με χρήση βιοαερίου στην Ελλάδα

Οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ή συμπαραγωγής με θερμότητα), με χρήση βιομάζας ή παραγώγων της, στην Ελλάδα βρίσκονται ακόμα στην αρχή τους. Η σημαντικότερη εγκατάσταση ενός τέτοιου θερμικού σταθμού είναι αυτή του σταθμού των Άνω Λιοσίων και γι' αυτό το λόγο γίνεται ξεχωριστή αναφορά σ' αυτό το υποκεφάλαιο.

6.6.5.1. Θερμικός σταθμός Άνω λιοσίων

Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας αποτελείται από 11 μονάδες, ηλεκτρικής ισχύος 1.262kW και θερμικής ισχύος 1.650kW έκαστη. Το κύριο καύσιμο του σταθμού είναι το βιοαέριο που προέρχεται από επεξεργασία απορριμμάτων του Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) και του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων Άνω Λιοσίων (Χ.Υ.Τ.Α.). Κάθε μονάδα τοποθετείται πάνω σε βάση από σκυρόδεμα και αποτελείται από 3 βασικά τμήματα: τον εξοπλισμό ισχύος, τον βοηθητικό εξοπλισμό και τα ψυγεία. Κάθε μονάδα είναι τοποθετημένη σε τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια 12m (container), πλήρως αυτόνομη και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα υποσυστήματα για την λειτουργία της (προσαγωγή αέρα καύσης και αερισμό, ψυγεία για την απαγωγή της θερμότητας από τα κυκλώματα ψύξης των μηχανών, ανεμιστήρα προσαγωγής καυσίμου, μετασχηματιστή και σύστημα ελέγχου). Ο σταθμός ακόμη περιλαμβάνει τρεις πυρσούς καύσης βιοαερίου για την τήρηση των περιβαλλοντικών όρων που έχουν τεθεί. Οι τρεις αυτοί πυρσοί είναι δυναμικότητας 4.500, 1.000 και 500m³/h και υπό κανονικές συνθήκες δεν θα βρίσκονται σε λειτουργία, παρά μόνο εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω αστοχίας στον υποσταθμό (Υ/Σ) της ΔΕΗ στον Ασπρόπυργο. Για την εξασφάλιση της λειτουργίας των πυρσών σε περίπτωση διακοπής της παραγωγής από τον σταθμό, υπάρχει βοηθητική ντιζελογεννήτρια 250kVA, η οποία αναλαμβάνει την εκκίνηση και την λειτουργία των πυρσών, καθώς και την ηλεκτροδότηση των εγκαταστάσεων και του κέντρου ελέγχου του σταθμού.

Πίνακας 6.6. Σταθμός Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού - Θερμότητας από το βιοαέριο του ΧΔΑ και του ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων [19].

Αριθμός εγκατεστημένων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (H/Z)	11
Τύπος H/Z	DEUTZ TBG 620V16K
Εγκατεστημένη ισχύς έκαστου H/Z	1.264kW
Εγκατεστημένη ισχύς σταθμού	13,9MW
Κόστος κατασκευής	19,4 εκατ. Ευρώ
Συμμετοχή ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.	50%

Έναρξη δοκιμαστικής λειτουργίας	Μάρτιος 2001
Παραγωγή ενέργειας έως 28-02-05	344GWh

Ο σταθμός περιλαμβάνει ακόμη σύστημα επεξεργασίας του καυσίμου, κτίρια διοίκησης, αποθήκη, μηχανουργείο και κτίριο της ΔΕΗ. Ο εξοπλισμός και τα κτίρια είναι εγκατεστημένα σε οικοπέδο εντός του Χ.Δ.Α. επιφάνειας περίπου 2.500 m². Εντός κάθε εμπορευματοκιβωτίου, τα οποία είναι κατάλληλα ηχομονωμένο, βρίσκονται, εκτός από την μηχανή, τα παρελκόμενά της και ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- Γεννήτρια
- Μετασχηματιστής
- Ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός προστασίας και ελέγχου
- Σύστημα εξαερισμού εξαναγκασμένης κυκλοφορίας
- Δεξαμενές ελαίου λίπανσης
- Φυσητήρας, σωληνώσεις και ασφαλιστικές διατάξεις για την τροφοδοσία του βιοαερίου στην μηχανή.

Ο βοηθητικός εξοπλισμός περιλαμβάνει ακόμη:

- Σύστημα σίγασης εξάτμισης και καμινάδα εξαγωγής καυσαερίων με υψηλή ταχύτητα.
- Ψυγείο για την απαγωγή της θερμότητας που μεταφέρει το ψυκτικό υγρό του κυκλώματος ψύξης της μηχανής, το οποίο αποτελείται από δύο ξεχωριστά ψυγεία, χαμηλής (για την ψύξη του μίγματος μετά τον υπερσυμπιεστή) και υψηλής θερμοκρασίας (για την ψύξη της ίδιας της μηχανής) και συστοιχία οκτώ ανεμιστήρων.
- Πίνακα που περιέχει συστήματα ελέγχου στροφών κινητήρων για τον φυσητήρα βιοαερίου, τους ανεμιστήρες εξαερισμού και τους ανεμιστήρες του ψυγείου.
- Σωληνώσεις προσαγωγής και επιστροφής του ψυκτικού υγρού από την μηχανή στο ψυγείο και αντίστροφα και σωληνώσεις βιοαερίου με τα απαραίτητα ασφαλιστικά εξαρτήματα.
- Σύστημα ανάκτησης θερμότητας από την απορριπτόμενη θερμότητα του νερού ψύξης της μηχανής.

Η διάταξη του εξοπλισμού της οροφής είναι τέτοια που είναι δυνατή η αποσυναρμολόγησή του και η τοποθέτησή του σε δύο εμπορευματοκιβώτια θαλάσσιας μεταφοράς μήκους 6,1m (20ft) για να διευκολύνεται η μεταφορά του. Η εγκατεστημένη ισχύς του βοηθητικού εξοπλισμού κάθε μονάδας ανέρχεται σε 58kW. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε 400V / 50Hz και με την χρήση μετασχηματιστών ανύψωσης τάσης ανυψώνεται στα 20kV.

Ο σκοπός του συστήματος ανάκτησης θερμότητας από το κύκλωμα ψύξης των 10 από των 11 μηχανών είναι η παραγωγή ζεστού νερού, θερμοκρασίας 85°C, και η μεταφορά του έως το όριο του οικοπέδου του σταθμού.

Ακόμη, κάθε μονάδα γεννήτριας είναι ικανή να παρέχει 6.695kg/h καυσαερίων σε θερμοκρασία 495°C τα οποία ψυχόμενα έως τους 120°C μπορούν να δώσουν 755kW θερμικής ενέργειας. Μέχρι στιγμής επειδή δεν υπάρχει κάποιος καταναλωτής θερμότητας πλησίον του σταθμού με γνωστές θερμικές απαιτήσεις (ποσότητα και συνθήκες, θερμό ή υπέρθερμο νερό ή ατμός) δεν έχει γίνει καμία πρόβλεψη για την εκμετάλλευση της θερμότητας αυτής, όμως το δυναμικό υπάρχει και είναι διαθέσιμο προς αξιοποίηση.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον σταθμό θα τροφοδοτείται στον Υ/Σ Ασπροπύργου (150 / 20kV) της ΔΕΗ στους ζυγούς των 20kV. Η διασύνδεση του

σταθμού με τον Υ/Σ Ασπροπύργου γίνεται μέσω δύο όμοιων γραμμών μεταφοράς Μέσης Τάσης (ΜΤ) 20kV, δυναμικότητας μεταφοράς 9MW εκάστη. Το μήκος κάθε γραμμής διασύνδεσης από τον οικίσκο της ΔΕΗ στον σταθμό έως τον Υ/Σ Ασπροπύργου ανέρχεται σε 10km.

Απόδειξη της επιτυχημένης επένδυσης, από κάθε άποψη, στο σταθμό αυτό είναι ότι έχει ήδη εγκριθεί άδεια επέκτασης του σταθμού για εγκατάσταση ακόμα τεσσάρων Η/Ζ, τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στον πίνακα 6.7.

Πίνακας 6.7. Επέκταση του υφιστάμενου σταθμού στην περιοχή των Άνω Λιοσίων [19].

Αριθμός εγκατεστημένων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (Η/Ζ)	4
Τύπος Η/Ζ	GE JENBACHER 620
Εγκατεστημένη ισχύς έκαστου Η/Ζ	2.423kW
Εγκατεστημένη ισχύς σταθμού	9,6MW
Προϋπολογισμός	15 εκατ. Ευρώ
Συμμετοχή ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.	50%
Εκτιμώμενη έναρξη δοκιμαστικής λειτουργίας	Σεπτέμβριος 2005

6.7. ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η ενέργεια των κυμάτων δεν επηρεάζεται από βραχυπρόθεσμες τοπικές κλιματικές επιδράσεις, καθώς οι ωριαίες και ημερήσιες διακυμάνσεις της είναι χαμηλότερες απ' αυτές της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Τα θαλάσσια κύματα μπορούν να αποδώσουν ενεργειακή ισχύ ανώτερη των 2TW σε παγκόσμιο επίπεδο. Σημαντικό χαρακτηριστικό των θαλάσσιων κυμάτων αποτελεί η υψηλή ενεργειακή τους πυκνότητα, η οποία είναι και η υψηλότερη όλων των υπόλοιπων ΑΠΕ. Η ενέργεια του κύματος είναι ευθέως ανάλογη του τετραγώνου του εύρους και της περιόδου της κίνησής του. Μακράς περιόδου (>7-10 s) και μεγάλου εύρους (>2m) κύματα έχουν ενεργειακές εκροές που υπερβαίνουν τα 40-50KW ανά μέτρο εύρους μετώπου κύματος. Στις ευρωπαϊκές ακτές της Μεσογείου η συνολική ετήσια ισχύς της κυματικής ενέργειας φθάνει τα 30GW, με τις υψηλότερες τιμές των 13KW/m μήκους κορυφής κύματος να εντοπίζονται στην περιοχή του νοτιοδυτικού Αιγαίου. Η οικονομικά αποδοτική απόσπαση ενέργειας από τη θάλασσα, όμως, αποτελεί μια αρκετά δύσκολη τεχνολογικά δοκιμασία γι' αυτό πολλές χώρες δίνουν ήδη μεγάλη έμφαση στη σχετική έρευνα και ανάπτυξη.

Όπως ισχύει και για τις υπόλοιπες ΑΠΕ, η διαθεσιμότητα της κυματικής ενέργειας και η διακύμανσή της είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που πρέπει αρχικά να καθοριστούν.

Οι μηχανισμοί μετατροπής κυματικής ενέργειας εντάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στους σταθερούς και στους πλωτούς. Οι σταθεροί μηχανισμοί ή μηχανισμοί ακτογραμμής (fixed or shoreline devices) εγκαθίστανται είτε στο βυθό

είτε στην ακτή και βασικό τους πλεονέκτημα έναντι των πλωτών είναι η εύκολη εγκατάσταση και συντήρησή τους. Εν δυνάμει περιορισμό τους μπορεί να αποτελέσει η προσαρμογή τους στις απαιτήσεις της παράκτιας γεωλογίας, της διατήρησης του τοπίου των ακτών και ιδιαίτερα, όσον αφορά τα κράτη-μέλη της Ε.Ε., η συμμόρφωσή τους προς τα σχέδια διαχείρισης (χρήσεις γης, οικονομικές αναλύσεις, επιπτώσεις ανθρώπινων δραστηριοτήτων, προγράμματα μέτρων κ.ά.) που επιβάλλει η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 για την προστασία -εκτός των επιφανειακών, υπόγειων, μεταβατικών- και των παράκτιων υδάτων.

Το βασικό σταθερό ή ακτογραμμής σύστημα μετατροπής κυματικής ενέργειας εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της ταλαντούμενης στήλης νερού (Oscillating Water Column): τα παράκτια κύματα ανυψώνουν τη στάθμη του νερού μέσα σε ένα μεγάλο -μερικώς βυθισμένο- θάλαμο, ο οποίος κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα επί της ακτής. Καθώς η στάθμη του νερού ανυψώνεται, αναγκάζει τον συσσωρευμένο εντός του θαλάμου αέρα να περάσει με ταχύτητα από ειδικό αεραγωγό και να κινηθεί τα πτερύγια της στροβιλογεννήτριας, που βρίσκεται στο στόμιο εισόδου/εξόδου του αέρα. Όταν τα κύματα υποχωρούν, η στάθμη του νερού που πέφτει αναρροφά από το περιβάλλον αέρα, ο οποίος διαμέσου της στροβιλογεννήτριας μεταφέρεται στην αντίθετη κατεύθυνση. Τα περιστρεφόμενα πτερύγια οδηγούν την ηλεκτρογεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ήδη σε νορβηγικούς σταθμούς στο Bergen, στην Ιρλανδία και στο σταθμό Gully στο νησί Islay της Σκωτίας, όπου σήμερα λειτουργεί βελτιωμένο με την ονομασία LIMPET (Land Installed Marine Powered Energy Transformer) και αποδίδει 500kW τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια 400 νοικοκυριά του βρετανικού εθνικού ηλεκτρικού δικτύου. Αντίστοιχο σύστημα ισχύος 400kW λειτουργεί στο νησί Pico, στις Αζόρες, όπου καλύπτει ένα σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών.

Οι πλωτοί μηχανισμοί μετατρέπουν την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω της αρμονικής κίνησης (ανύψωσης και πτώσης συγχρόνως με την κίνηση του κύματος) του επιπλέοντος τμήματός τους. Οι πλέον γνωστοί είναι:

-Ο κυλινδρικός Salter Duck, ο οποίος σταθεροποιείται γυροσκοπικά και μπορεί να μετατρέπει τόσο την κινητική όσο και τη δυναμική ενέργεια του κύματος, επιτυγχάνοντας υψηλή απόδοση ενεργειακής απορρόφησης (θεωρητικά πάνω από 90%).

-Ο Clam, που αποτελείται από μεμονωμένους αερόσακους τοποθετημένους σε σταθερό πλαίσιο και οι οποίοι συμπιέζονται από την κυματική δραστηριότητα με αποτέλεσμα ο εκτοπισμένος αέρας να διοχετεύεται σε στρόβιλο που παράγει ηλεκτρισμό.

-Το σύστημα Pelamis, το οποίο είναι μια ημιβυθισμένη κατασκευή αποτελούμενη από κυλινδρικά ατσάλινα κομμάτια ενωμένα σε αρθρώσεις. Πρυμνοδεμένο έτσι ώστε να ευθυγραμμίζεται με την κατεύθυνση του ισχυρότερου κύματος, το σύστημα δέχεται τον κυματισμό σ' όλο του το μήκος (150 μέτρα), πραγματοποιώντας μια σπαστή στις αρθρώσεις κίνηση. Υδραυλικά έμβολα σε κάθε άρθρωση αντιδρούν στην κίνηση αυτή και αντλούν υψηλής πίεσης υγρό σε υδραυλικούς κινητήρες, οι οποίοι με τη σειρά τους ενεργοποιούν τις ηλεκτρογεννήτριες. Υπάρχουν ήδη σχέδια για τη δημιουργία κυματικών πάρκων (wave parks) με μεγάλους αριθμούς τέτοιων συσκευών που θα τροφοδοτούν ένα υποβρύχιο καλώδιο μεταφοράς ρεύματος αυξάνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας το κόστος μετατροπής.

5.8. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΕΣ

Ενώ η κυματική ενέργεια προκαλείται από τον άνεμο, οι παλίρροιες είναι το αποτέλεσμα της βαρυτικής έλξης της Σελήνης, τροποποιημένης απ' αυτήν του Ήλιου. Το παλιρροϊκό ύψος επηρεάζεται και από την παροχτευτική ικανότητα των σημείων εκβολής, ενώ η ενέργεια που μπορεί να αποσπασθεί είναι ανάλογη της περιοχής του νερού που παγιδεύεται, της μάζας του και της απόστασης που αυτό διανύει από την υψηλή (πλημμυρίδα) στη χαμηλή παλίρροια (άμπωτης). Έτσι, εκβολές μεγάλου μήκους αποδίδουν μεγαλύτερη παλιρροϊκή ενέργεια. Τα παλιρροϊκά φράγματα (tidal barrages) δεν λειτουργούν συνεχώς, αφού σε καθημερινή βάση σημειώνονται μόνο δύο παλιρροϊκά φαινόμενα κατά τόπο. Η βασική τεχνολογία ενεργειακής μετατροπής που εφαρμόζεται είναι παρόμοια μ' αυτή των υδροηλεκτρικών φραγμάτων. Σε αντίθεση με τα τελευταία, όμως, τα παλιρροϊκά φράγματα δεν απαιτούν τη δέσμευση και καταβύθιση μεγάλων εκτάσεων γης, αν και έχουν εκφρασθεί αντιρρήσεις από περιβαλλοντολόγους σχετικά με τις αρνητικές επιπτώσεις τους σε τοπικά οικοσυστήματα λόγω της αλλαγής που προκαλούν στην παλιρροϊκή έκταση.

Αντί της κατασκευής μεγάλων και περιβαλλοντικά μη φιλικών παλιρροϊκών φραγμάτων, υπάρχει και η εναλλακτική τεχνολογική λύση της χρήσης βυθισμένων μηχανισμών, που μοιάζουν με ανεμογεννήτριες και εκμεταλλεύονται τα γρήγορα παλιρροϊκά ρεύματα σε κανάλια κοντά σε παράκτιες περιοχές. Μία παλιρροϊκή γεννήτρια (Π/Γ, tidal turbine) εκμεταλλεύεται τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια ανά m^2 ή στροφείο από μια Α/Γ, λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των παλιρροϊκών ρευμάτων. Εφαρμοσμένος στη πράξη μηχανισμός είναι ο Seaflo, ισχύος 300kW, εγκατεστημένος στα ανοικτά του Devon στο Ηνωμένο Βασίλειο. Συστοιχίες τέτοιων γεννητριών σχηματίζουν παλιρροϊκούς φράκτες (tidal fences), όπως αυτός, ισχύος 2,2GW, που θα εγκατασταθεί σε νησιά των Φιλιππίνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Πριν από μερικά χρόνια γίναμε για μια ακόμα φορά μάρτυρες ενός πολέμου, του πολέμου στο Ιράκ, του οποίου όλες οι επιπτώσεις δεν έχουν γίνει ακόμα γνωστές. Είναι πραγματικά αδιάφορο αν ο πόλεμος έγινε στο όνομα του καλού ή του κακού, είτε επικαλύπτεται από τη δικαιολογία του οπλισμένου ή του αφοπλισμένου, είτε η βία ονομάζεται απελευθέρωση. Πίσω όμως από όλα αυτά υποκρύπτεται το φλέγον ζήτημα των ενεργειακών αποθεμάτων σε πετρέλαιο. Αναδεικνύεται με τον πιο σκληρό τρόπο ίσως, η αναγκαιότητα για απεξάρτηση των ενεργειακών αναγκών κάθε χώρας και ιδιαίτερα της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το «μαύρο χρυσό». Και η απάντηση σε αυτό το μείζον ερώτημα καταλήγει αναπόφευκτα στην αλλαγή του ενεργειακού μοντέλου και στην ανεύρεση άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Η κατάληξη αυτή είναι μονόδρομος πρώτα απ' όλα για την Ελλάδα που είναι η πλέον εξαρτημένη από το πετρέλαιο χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Διέξοδος υπάρχει και είναι όσο ποτέ άλλοτε αναγκαία και επιτακτική. Η στροφή στις Α.Π.Ε., στα ενεργειακά αποθέματα που δίνει με αφθονία στη χώρα μας βασικά ο ήλιος, ο άνεμος, τα ορυκτά που βρίσκονται στα έγκατα της ελληνικής γης και η κινητική ενέργεια των κυμάτων (στη νησιωτική Ελλάδα) αποτελούν επιτακτική ανάγκη.

Η χρήση των Α.Π.Ε εκτός του συναλλαγματικού οφέλους, θα συμβάλλει καταλυτικά και στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς η ενέργεια και το περιβάλλον είναι έννοιες αλληλένδετες. Από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης ο άνθρωπος άρχισε μαζικά να χρησιμοποιεί τα ορυκτά καύσιμα ως μοχλό ανάπτυξης και βελτίωσης των συνθηκών ζωής του. Όμως την τελευταία δεκαετία η ανθρωπότητα άρχισε να συνειδητοποιεί, ότι η ανάπτυξη αυτή έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ένα περιβαλλοντικό τίμημα (τήξη των πάγων, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, απερίημωση, εξαφάνιση περιοχών, απώλεια βιοποικιλότητας, αλλά και δεκάδων εκατομμυρίων ανθρώπινων ζώων είτε άμεσα είτε έμμεσα). Πλήρης ανατροπή της περιβαλλοντικής ισορροπίας του πλανήτη με ανυπολόγιστες συνέπειες.

Ένα από τα βασικά στοιχεία -πέραν αυτού της πραγματικής απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας- είναι και η αύξηση της διείσδυσης στο ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Στον ευρύτερο προσδιορισμό αυτών περιλαμβάνεται, όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (μικρούς και μεγάλους), αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμη ύλη την βιομάζα. Σύμφωνα με τις κοινοτικές οδηγίες, μέχρι το 2010 η χώρα μας θα πρέπει να καλύπτει περίπου το 20% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ενώ αυτή τη χρονική στιγμή καλύπτει περίπου μόνο το 3% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (βλέπε σχήμα 2.3).

Ομολογουμένως, βάσει των εκτιμήσεων παραγόντων της αγοράς, ο στόχος είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί, αφού η παραγωγή από αυτές τις μορφές πρέπει να πολλαπλασιαστεί, ωστόσο έστω και δύσκολα, υπάρχουν οι προοπτικές. Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από τις πλέον προικισμένες χώρες σε αιολικό δυναμικό (ανέμους), γεγονός που αν αξιοποιηθεί ορθολογικά, μπορεί να συνεισφέρει πολλαπλά και στην παραγωγή της "πράσινης" ενέργειας.

Όμως, μια σειρά προβλημάτων και αγκυλώσεων, τόσο σε θεσμικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, έχουν καθηλώσει σε ένα βαθμό την επέκταση των αιολικών πάρκων.

Όσον αφορά τους ήδη εγκατεστημένους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, δεν παύουν να αποτελούν ένα αξιοσημείωτο οικονομικό κεφάλαιο και να παρέχουν πολλές θέσεις απασχόλησης, όποτε η κατάργησή τους θα ήταν ένα αρνητικό στοιχείο, τόσο στον οικονομικό όσο και στον κοινωνικό τομέα. Επίσης η σταθερότητα που προσφέρουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Ελλάδα τους καθιστά αναγκαίους στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Θα πρέπει, όμως, να γίνουν προσπάθειες βελτίωσης της λειτουργίας τους ώστε να μειωθούν τα επίπεδα ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η βελτίωση αυτή πρέπει να κινηθεί προς την κατεύθυνση της καλύτερης (αποδοτικότερης) καύσης, όσο και της καλύτερης ποιότητας καυσίμου αλλά και της επεξεργασίας των αέριων εκπομπών με νέες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες. Προς αυτές τις κατευθύνσεις αναπτύσσονται αρκετές τεχνολογίες, όπως αναφέρθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 5, οι οποίες οδηγούν σε καθαρότερη και αποδοτικότερη ενέργεια από τα στερεά καύσιμα. Το μόνο που μένει είναι όλοι οι αρμόδιοι φορείς (κράτη και επιστημονική κοινότητα) να βοηθήσουν ώστε αυτές οι τεχνολογίες να περάσουν σταδιακά από το πειραματικό στάδιο και τις πιλοτικές εφαρμογές στην παραγωγή.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της European Environment Agency [11] οι εκπομπές των βασικότερων αέριων ρύπων που προέρχονται από Σ.Π.Η.Ε. (CO_2 , NO_x , CO , SO_2) δείχνουν μια σημαντική και σταθερή μείωση, όπως φαίνεται και από τα σχήματα 5.8 έως 5.11 του κεφαλαίου 5. Η μείωση αυτή οφείλεται τόσο στη θέσπιση από την Ε.Ε. ανώτατων επιτρεπτών ορίων εκπεμπόμενων ρύπων όσο και στη χρήση νέων τεχνολογιών, καύσης βελτιωμένων καυσίμων και αντιρρυπαντικών τεχνολογιών καθώς και στην αυξανόμενη χρήση ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η διεύθυνση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο έχει ποσοστιαία οροφή λόγω κάποιας σχετικής αστάθειας που προκαλούν στην ασφάλεια του ηλεκτρικού συστήματος μιας χώρας. Δηλαδή, δεν μπορεί να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο ποσοστό του συνολικού ποσοστού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά, βάσει του Πρωτοκόλλου του Κυότο, μέχρι το 2010 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ πρέπει να καταλαμβάνει το 14% επί της συνολικής παραγωγής στις ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη. Όμως σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να περνάει από τη σκέψη μας ότι σε κάποια χρόνια το σύνολο της παραγωγής θα προέρχεται π.χ. από αιολικά πάρκα, διότι σε μια τέτοια περίπτωση θα είχαμε ρεύμα ανάλογα με τα κέφια του... Αιόλου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ασυνεχείς μετρήσεις αερίων ρύπων του ΑΗΣ Λ.Κ.Π.-Α. κατά τα έτη 1998-2002.

Η/Φ 1:

PM-10 (mg/m³)

1998	1999	2000	2001	2002
10,2	10,4	10,1	18,1	79,1
6,9	56,3	12,6	80,4	20,6
6,6	9,6	68,9	17,1	
6,1	294,9	265,4	16,2	
7,7	14,4	13,8	39,3	
56,9	10,4	11,8	19,4	
47,5	190,2		14,1	
9,8	138,9		14,1	
7,7	14,6		16,8	
6,9				
5,4				
150,1				
119,7				

Η/Φ 2:

PM-10 (mg/m³)

1998	1999	2000	2001	2002
18,2	11,1	17,4	15,7	79,2
7	84,3	54,6	165,6	72,8
6,8	305,5	11,2	17,8	
101,1	14,8	295,7	9,8	
12,8	18,8	30,4	10,8	
101	326,1	28,7	49,3	
9,7	12,3		8,4	
77,7	53,2		4,9	
8	25,6		7,2	
	12,6			
	119			
	189,2			
	13,2			

ΜΟΝΑΔΑ Ι:

SO₂ (ppm)

1998	1999	2000	2001	2002
60	520	290	148	386
370	510	260	150	369
550	500	290	144	306
375	390	240	241	399
340	415	290	249	410

180	380	345	261	405
320	310		227	333
320	355		109	292
270	300		142	245
	280			290
	325			357
	300			221

NO_x (ppm)

1998	1999	2000	2001	2002
160	120	170	376	135
180	115	150	376	180
130	130	140	374	212
115	100	130	351	260
160	85	130	259	345
60	105	200	351	283
90	115		325	96
40	95		260	50
60	100		254	27
	105			235
	110			255
	120			198

CO (ppm)

1998	1999	2000	2001	2002
40	110	45	60	23
36	90	50	60	21
32	50	45	58	25
75	80	60	25	5
45	85	75	23	12
50	70	50	26	13
45	70		25	27
80	55		31	28
65	60		30	33
	60			20
	55			19
	70			26

MONAAA II:SO₂ (ppm)

1998	1999	2000	2001	2002
560	530	310	90	265
730	440	280	85	389
700	410	270	84	438
650	380	320	249	277
520	385		250	198
420	320		320	416

290	360		200	182
260	340		222	389
210	350		237	356
280	335			184
				330
				354,1

NO_x (ppm)

1998	1999	2000	2001	2002
150	170	150	366	100
150	130	160	356	185
150	130	170	374	177
135	140	200	188	33
180	150		149	118
160	150		215	273
40	110		354	39
50	80		352	261
70	90		368	148
70	105			255
				176
				150

CO (ppm)

1998	1999	2000	2001	2002
30	25	35	32	31
26	55	55	32	21
22	55	50	34	19
40	50	50	23	44
40	65		26	35
50	58		24	30
60	50		17	25
55	50		17	17
55	40		16	24
50	50			22
				18
				17

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΛΙΣΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ

- 1) [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.dei.gr/%28E897221926544FBAF1EB64C191CAE988411A07068859367A%29/ecportal.asp?id=146&nt=123&lang=1>. Πρόσβαση 1/7/2005
- 2) [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.rae.gr/energysys/main.htm>. Πρόσβαση 1/7/2005
- 3) ΡΑΕ. General Information on the Greek Electricity Sector for the period 2000-2003: Installed Capacity, Production & Consumption Levels, RES and Long Term Energy Planning. Σελ. 2-3.
- 4) IEA. Monthly Electricity Survey. Dec 2003 & Mar. 2005. Σελ. 3,9 [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.iea.org/Textbase/stats/surveys/mes.pdf>. Πρόσβαση 1/7/2005
- 5) Γρατσιά Ε, Φωκιανού Τ. Η αγορά ενέργειας στην Ελλάδα, 2^ο Κεφ. Έκδόσεις ICAP & Δήλος Επικοινωνίες.
- 6) Παπακωνσταντίνου Δ. Κωδικοποίηση-Θεματοποίηση νομοθεσίας και νομολογίας για τις ΑΠΕ. Ε.Σ.Η.Α.Π.Ε. 2004, Αθήνα.
- 7) Ντοκόπουλος Π. Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας Τόμος Α: Σελ. 150-215. Παρατηρητής. 1986, Θεσσαλονίκη.
- 8) ΔΕΗ ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου. Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Αγίου Δημητρίου, Σελ. 3-22. ΔΕΗ.
- 9) Γεντεκάκης Ι.Β. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα. 1999, Θεσσαλονίκη.
- 10) Καρλόπουλος Ε.Χ. Τεχνολογίες καθαρής καύσης ανθράκων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Νο2: Σελ 5-15. Κέντρο Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων. 1997.
- 11) European Environment Agency. Annual European Community CLRTD, emission inventory 1990-99. Technical Report No 73. Office for Official Publications of the European Communities. 2002, Luxemburg.
- 12) ΔΕΗ ΛΚΠ-Α ΜΜ&Α ΤΠΠ&ΑΕ. Ετήσιες Εκθέσεις Ποιότητας Περιβάλλοντος ΑΗΣ ΛΚΠ-Α&ΕΛΠ. 1998-2002. Κοζάνη.
- 13) [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.viotech.gr/content/view/3/26/>. Πρόσβαση 1/7/2005
- 14) Βασιλάκος Ν. Το νέο(;) θεσμικό και αδειοδοτικό πλαίσιο των ΑΠΕ. 2004. [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.hellasres.gr/Greek/THEMATATA/parousiaseis-fr.htm>. Πρόσβαση 1/7/2005
- 15) [Online]. Διαθέσιμο: <http://www.viotech.gr/content/view/17/40/>. Πρόσβαση 1/7/2005
- 16) Παπαντώνης Δ. Μικρά υδροηλεκτρικά έργα. *Εθνικό Συνέδριο: Η εφαρμογή των ΑΠΕ, προτεραιότητες και ευρωπαϊκή στρατηγική*. Πρακτικά: Σελ. 118-122. ΕΜΠ Μονάδα Ενεργειακών Πόρων. 1998, Αθήνα.
- 17) Dickson M.H., Fanelli M. What is geothermal energy?. Istituto di Geoscienze e Georisorse. CNR, Pisa, Italy.
- 18) Βουρδουμπάς Ι. Εισαγωγή στις τεχνολογίες της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Μ.Α.Ι.Χ. 2002, Χανιά.
- 19) [Online]. Διαθέσιμο: http://www.helector.gr/corpsite/display/dsp_Entity.asp?en_id=47. Πρόσβαση 1/7/2005.