

Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Πυρηνική Τεχνολογίας
Διευθυντής: Καθηγητής Σ.Ε. Σιμόπουλος

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ
ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΑΠΟ ΠΥΡΗΝΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Κ. ΜΠΟΜΠΟΤΑ

Σπουδαστή της Σχολής
Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Επίβλεψη: Αναπλ. Καθηγητής Ε.Π. Χίνης

Αθήνα 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται σύγκριση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς με χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων και από πυρηνικούς σταθμούς. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν με τη χρήση του Προγράμματος ORCOST II το οποίο παραχωρήθηκε από τη NEA-DB του ΟΟΣΑ (OECD) στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (ΕΠΤ-ΕΜΠ) μετά από αίτησή του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διευθυντή του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας Καθηγητή κύριο Σ.Ε. Σιμόπουλο και τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Μ.Ι. Αναγνωστάκη, μέλη της εξεταστικής επιτροπής, για τις παρατηρήσεις το χρόνο που διέθεσαν. Ιδιαίτερος θέλω να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κύριο Ε.Π. Χίνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και για τις συμβουλές και τις υποδείξεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

Αθήνα – Μάρτιος 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή.....	4
2.	Οικονομοτεχνική Μελέτη Ενεργειακών Πηγών με Έμφαση στους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες Ισχύος.....	6
2.1	Εισαγωγή.....	6
2.2	Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	7
2.2.1	Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί.....	7
2.2.2	Θερμικοί σταθμοί μηχανών Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ).....	15
2.2.3	Πυρηνικοί σταθμοί.....	19
2.2.4	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	31
2.2.5	Αιολική ενέργεια.....	35
2.2.6	Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	45
	Βιβλιογραφία 2 ^{ου} Κεφαλαίου.....	53
3.	Κόστος Εκπομπών CO₂.....	55
3.1	Εθνικές δεσμεύσεις ως προς τις εκπομπές CO ₂	55
3.2	Αρχές λειτουργίας της Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών.....	56
3.3	Εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών.....	58
3.4	Αρμόδια αρχή.....	60
3.5	Κατανομή και εμπορία δικαιωμάτων.....	63
3.6	Κόστος Εκπομπών CO ₂	66
	Βιβλιογραφία 3 ^{ου} Κεφαλαίου.....	70
4.	Πυρηνικό Καύσιμο.....	71
4.1	Ο Κύκλος του πυρηνικού καυσίμου.....	71
4.2	Κόστος του πυρηνικού καυσίμου.....	77
	Βιβλιογραφία 4 ^{ου} Κεφαλαίου.....	79
5.	Υπολογισμός Κόστους Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	80
5.1	Περιγραφή Προγράμματος.....	80
5.2	Αλλαγές Προγράμματος.....	81
5.3	Δεδομένα Προγράμματος.....	82
5.4	Αποτελέσματα υπολογισμών.....	100
	Βιβλιογραφία 5 ^{ου} Κεφαλαίου.....	108
6.	Συμπεράσματα.....	109
	Βιβλιογραφία 6 ^{ου} Κεφαλαίου.....	114
7.	Παραρτήματα.....	115

1.Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει σα στόχο να συγκρίνει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της. Η σύγκριση αυτή αφορά θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, και πυρηνοληλεκτρικούς σταθμούς. Ο λόγος που έγινε αυτή η επιλογή είναι γιατί αυτοί οι σταθμοί αποτελούν τον κύριο τρόπο παραγωγής ηλεκτρικού φορτίου βάσης, όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο υδραυλικό ή γεωθερμικό δυναμικό. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται το πρόγραμμα ORCOST II το οποίο υπολογίζει τα διάφορα κόστη κατασκευής των εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής καθώς και το συνολικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας. Μια σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων που αποτελούν την εργασία αυτή ακολουθεί παρακάτω.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή διαφόρων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για δοθεί μια πληρέστερη εικόνα αναφορικά με τους διάφορους τρόπους ηλεκτροπαραγωγής, τις εγκαταστάσεις τους, τις αρχές λειτουργίας και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους παρουσιάζεται ένα ευρύτερο φάσμα μεθόδων που είναι σήμερα διαθέσιμοι. Έτσι η περιγραφή, στο κεφάλαιο αυτό, δεν περιορίζεται μόνο στους τρόπους ηλεκτροπαραγωγής που μελετά η παρούσα εργασία αλλά περιλαμβάνει και άλλες διαδεδομένες μεθόδους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, της εργασίας, παρουσιάζονται οι κανονισμοί που διέπουν την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και την επιρροή αυτών στην ηλεκτροπαραγωγή. Από την συνθήκη του Κυότο και μετά, την οποία έχει προσυπογράψει η Ελλάδα και η Ευρωπαϊκή Ένωση, διάφορες χώρες έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπουν. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με βάση αυτή τη λογική, έχει θεσπίσει ένα σύστημα, για τον περιορισμό των αέριων ρύπων, που επιβαρύνει οικονομικά τους παραγωγούς αυτών. Λόγω του ότι ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής είναι από τους σημαντικότερους εκπομπούς, αέριων ρύπων, το κεφάλαιο αυτό αφιερώνεται στην περιγραφή του συστήματος αυτού και την παρουσίαση των ειδών κόστους με τα οποία επιβαρύνει τους ρυπαντές.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του πυρηνικού καυσίμου και των ιδιοτήτων του σε σχέση με άλλα καύσιμα. Το πυρηνικό καύσιμο διαφέρει σημαντικά σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, δεν είναι ένα διαδεδομένο καύσιμο και χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένους τομείς. Ακόμη εμφανίζει πολύ μικρή αναλογία μάζας με θερμική ικανότητα και το σημαντικότερο απαιτεί ειδική διαχείριση λόγω της επικίνδυνης ακτινοβολίας που εκπέμπει κατά την καύση του αλλά και μετά τη χρήση του. Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια περιγραφή του κύκλου του πυρηνικού καυσίμου, των διαφόρων σταδίων που τον διέπουν καθώς και μια εκτίμηση του κόστους με το οποίο το κάθε στάδιο επιβαρύνει την τελική τιμή του καυσίμου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνονται οι υπολογισμοί του κόστους παραγωγής ενέργειας των διαφόρων μεθόδων καθώς και η σύγκριση μεταξύ τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το πρόγραμμα ORCOST II. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται, το πρόγραμμα, ως προς τη λειτουργία του (συντόμως αφού οι μέθοδοι για τον υπολογισμό κόστους παραγωγής ενέργειας ξεφεύγουν από τα πλαίσια της εργασίας αυτής) και ως προς τα δεδομένα που εισάγουμε για τους υπολογισμούς και τα αποτελέσματα που δίδει (εκτενέστερα καθώς αυτοί είναι βασικοί επιστημονικοί στόχοι της εργασίας).

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά το πέρας της υπό παρουσίαση μελέτης. Περιλαμβάνει ακόμη τις προτάσεις μας για μελλοντική έρευνα σε σχέση με την ηλεκτροπαραγωγή, τις διάφορες χρησιμοποιούμενες μεθόδους και τα κόστη που υπεισέρχονται στη διαδικασία υπολογισμού.

2. Οικονομοτεχνική Μελέτη Ενεργειακών Πηγών με Έμφαση στους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες Ισχύος

2.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί μια από τις πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας. Η ευκολία που παρουσιάζει στη μεταφορά καθώς και στη δυνατότητα μετατροπής της σε σχεδόν οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας την έχουν καταστήσει την περισσότερο χρησιμοποιούμενη μορφή κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη μετατροπής άλλων μορφών ενέργειας σε ηλεκτρική.

Πέραν ελαχίστων εξαιρέσεων (φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου) το κύριο μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ηλεκτρική γεννήτρια. Η ηλεκτρική γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και κατασκευαστικά αποτελείται από δύο μέρη. Το ακίνητο μέρος ονομάζεται στάτης και περιλαμβάνει πυρήνα και τυλίγματα ή μόνιμους μαγνήτες ενώ το κινητό μέρος ονομάζεται δρομέας και αποτελείται από πυρήνα και τυλίγματα ή από μόνιμο μαγνήτη. Μεταξύ του στρεφόμενου δρομέα και του ακίνητου στάτη, υπάρχει το μαγνητικό διάκενο που είναι υπεύθυνο για τη μαγνητική ροή που διαρρέει το μαγνητικό κύκλωμα της μηχανής. Κατά τη λειτουργία της γεννήτριας ο δρομέας, ή ο στάτης ανάλογα με την κατασκευή, παρέχει ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο το οποίο βρίσκεται σε σχετική κίνηση με τα τυλίγματα του στάτη, ή του δρομέα αντίστοιχα, παράγοντας έτσι τάση επαγωγής [1].

Όταν –για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας– χρησιμοποιούνται άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή πυρηνικό καύσιμο τότε, από αυτά, αρχικά παράγεται θερμική ενέργεια και στη συνέχεια αυτή μετατρέπεται σε μηχανική με χρήση στροβίλου. Η μηχανική ενέργεια έχει συνήθως μορφή περιστροφικής κίνησης και η μηχανή που μετατρέπει τη θερμότητα σε κίνηση και στρέφει τον άξονα της γεννήτριας είναι συνήθως ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος ή ντιζελοκινητήρας. Οι σταθμοί παραγωγής που λειτουργούν με μετατροπή θερμικής ενέργειας καλούνται θερμικοί σταθμοί ώστε να διακρίνονται από τα πιο συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως ανεμογεννήτριες και υδροστρόβιλοι στα οποία δεν αποτελεί ενδιάμεση μορφή η θερμική ενέργεια[2].

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διεθνώς.

2.2 Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

2.2.1 Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί

Οι Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί (ΑΗΣ) χρησιμοποιούνται ως σταθμοί βάσης φορτίου (>5000 ωρών λειτουργίας αντίστοιχα) αλλά και – λιγότερο συχνά - ως μονάδες μεσαίου φορτίου ή φορτίου αιχμής (από 2000 έως 5000 και από 500 έως 2000 ώρες λειτουργίας ετησίως αντίστοιχα). Στη χώρα μας χρησιμοποιείται ως καύσιμο κυρίως ο λιγνίτης και λιγότερο το πετρέλαιο. Μεγάλο πλεονέκτημα των σταθμών αυτών είναι ότι μπορούν να εργάζονται συνέχεια για αρκετούς μήνες χωρίς να χρειάζονται συντήρηση[3][4][5].

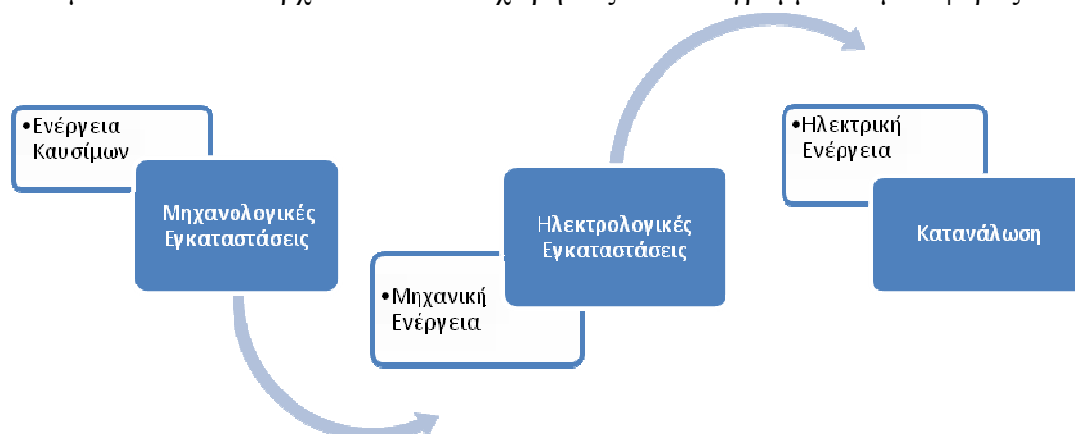


Εικόνα 2.1 Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Gavin Plant (Ohio)

Σύνθεση των ΑΗΣ

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί αποτελούνται κυρίως από δύο μέρη :

- Από το μηχανολογικό, όπου η χημική ενέργεια των καυσίμων μετατρέπεται σε κινητική και
- Από το ηλεκτρολογικό που αποτελείται από τη στροβιλογεννήτρια και τον υποσταθμό όπου υπάρχουν οι αναχωρήσεις των γραμμών μεταφοράς.



Εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν οι χώροι αποθήκευσης των καυσίμων και πλήθος βοηθητικών μηχανημάτων. Κάθε σταθμός έχει παραπάνω από μια μονάδες.

Μηχανολογικές εγκαταστάσεις Ατμοηλεκτρικού Σταθμού (ΑΗΣ)

Τα κύρια κυκλώματα σε έναν ΑΗΣ είναι τρία :

- α) Το κύκλωμα καυσίμου-αέρα
- β) Το κύκλωμα νερού-ατμού
- γ) Το κύκλωμα νερού-συμπύκνωσης του ατμού

Τα κυκλώματα αυτά είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Α. Κύκλωμα καυσίμου-αέρα

Τα βασικά του τμήματα είναι:

Η εστία -μέσα στην οποία γίνεται η καύση του καυσίμου που αποτελεί τμήμα του λέβητα- η καπνοδόχος και οι εγκαταστάσεις τροφοδοσίας καυσίμου και προσαγωγής αέρα.

Η θέση στο σταθμό, οι διαστάσεις και η μορφή της εστίας εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου. Η ίδια έχει επένδυση από πυρίμαχα υλικά για την προστασία του λέβητα. Όταν τα καύσιμα είναι στερεά η εστία έχει σχάρα στην οποία τοποθετείται το καύσιμο· στην περίπτωση που ο άνθρακας που καίγεται είναι σε μορφή σκόνης δε χρειάζεται σχάρα. Ο κονιοποιημένος άνθρακας προτιμάται σε σχέση με άλλα στερεά καύσιμα, καθώς καίγεται τελειότερα, δημιουργείται υψηλότερη θερμοκρασία στην εστία, μεγάλη απορρόφηση θερμότητας με ακτινοβολία και γενικά επιτυγχάνεται υψηλότερος βαθμός απόδοσης. Η κατασκευή της σχάρας είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή η συνεχής τροφοδοσία με καύσιμο και συγχρόνως η αφαίρεση της τέφρας. Η εστία για τα υγρά και αέρια καύσιμα δεν έχει σχάρα, αλλά κατάλληλους καυστήρες. Ο αέρας για την καύση, εισάγεται με ανεμιστήρες και γίνεται ρύθμιση της ποσότητάς του· σε μερικούς τύπους καυστήρων ο αέρας εισάγεται στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις προθερμαίνεται καθώς έτσι εξοικονομείται ενέργεια και διευκολύνεται η καύση. Για την προθέρμανση του αέρα χρησιμοποιείται τμήμα των καυσαερίων.

Τα καυσαέρια περνούν κατόπιν μέσα από το λέβητα αφήνοντας το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που έχουν. Αφού περάσουν και από άλλες βοηθητικές συσκευές (οικονομητές, προθερμαντές, υπερθερμαντές) καταλήγουν στην καπνοδόχο. Για να μη ρυπανθεί το περιβάλλον από τα κατάλοιπα της καύσης τα οποία παρασύρονται από τα καυσαέρια, στην καπνοδόχο τοποθετούνται μηχανικά και ηλεκτροστατικά φίλτρα [2][3][4].

B. Κύκλωμα νερού ατμού

Το κύκλωμα αυτό είναι το βασικότερο του ατμοηλεκτρικού σταθμού και συγκροτείται από:

- όργανα εναλλαγής θερμότητας (λέβητας, ψυγείο, προθερμαντές, υπερθερμαντές, οικονομητές)
- στρεφόμενα μέρη (στρόβιλος, ανεμιστήρας, κλπ.).

Λέβητας

Στο λέβητα γίνεται η εναλλαγή της θερμότητας, δηλαδή τα καυσαέρια της καύσης θερμαίνουν το νερό και το ατμοποιούν. Σκοπός λοιπόν του λέβητα είναι η ατμοποίηση του νερού.

Τα βασικά μέρη του λέβητα είναι:

α) Ο θερμαντήρας. Αποτελείται από τα μέρη του λέβητα μέσα στα οποία γίνεται η καύση, δηλαδή τον κλίβανο (ή φλογοσωλήνα), το φλογοθάλαμο και τους φλογαυλούς. Στο φλογοθάλαμο καίγονται τα αέρια που δεν πρόλαβαν να καούν στον κλίβανο. Φλογαυλοί είναι οι σωλήνες που μεταδίδουν τη θερμότητα στο νερό. Για να έχουν μεγάλη επιφάνεια -κάτι που διευκολύνει την εναλλαγή της θερμότητας- κατασκευάζονται από πολλούς σωλήνες με μικρή διάμετρο και μεγάλο μήκος. Σε κάποιους τύπους λεβήτων, μέσα από τους σωλήνες διέρχεται νερό και εξωτερικά περιβάλλονται από καυσαέρια (οι σωλήνες αυτοί λέγονται υδραυλοί).

β) Καπνοθάλαμος είναι το μέρος που συνδέει το φλογοθάλαμο με την καπνοδόχο.

γ) Υδροθάλαμος είναι ο χώρος που καταλαμβάνει το νερό που πρόκειται να ατμοποιηθεί.

δ) Ατμοθάλαμος είναι ο χώρος που βρίσκεται πάνω από το νερό και καταλαμβάνει ο ατμός.

Προθερμαντές νερού

Προθερμαίνουν το νερό τροφοδοσίας με ατμό που εξέρχεται από τις διάφορες βαθμίδες του στροβίλου με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης της εγκατάστασης.

Η προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης ενός λέβητα. Με την αύξηση των βαθμίδων προθέρμανσης αυξάνει ο βαθμός απόδοσης αλλά συγχρόνως και το κόστος εγκατάστασης. Έτσι η εκλογή του αριθμού των βαθμίδων προθέρμανσης αποτελεί αντικείμενο τεχνοοικονομικής μελέτης.

Οικονομητής του νερού τροφοδότησης

Είναι συσκευή με πολλούς αυλούς που τοποθετούνται στο χώρο του καπνοθαλάμου. Το ποσό της θερμότητας που απομένει στα καυσαέρια μετά την υπερθέρμανση του ατμού περνά από τον οικονομητή. Έτσι το νερό που πρόκειται να μπει στο λέβητα προθερμαίνεται στον οικονομητή.

Υπερθερμαντής

Αποτελείται κι αυτός από αυλούς και τοποθετείται στην έξοδο του λέβητα. Ως σκοπό έχει να αυξήσει τη θερμοκρασία του ατμού ώστε από υγρός να γίνει ξηρός.

Εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν και άλλες πολλές βοηθητικές συσκευές όπως π.χ. αντλίες νερού, εξαερωτές, αποσκληρυντές του νερού και άλλες.

Κύκλωμα νερού ψύξης

Ο ατμός που εξέρχεται από το στρόβιλο υγροποιείται στο ψυγείο που ονομάζεται και συμπυκνωτής. Κατόπιν το νερό, οδηγείται με αντλίες στο λέβητα σε κλειστό κύκλο.

Ως ψυκτικό υγρό - του ψυγείου - χρησιμοποιείται νερό που το λαμβάνουμε από ποτάμια, λίμνες ή τη θάλασσα. Αν δεν υπάρχει τέτοιο διαθέσιμο νερό όπως συμβαίνει στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη, δημιουργείται μικρή τεχνητή λίμνη όπου συγκεντρώνονται τα νερά της βροχής καθώς και τα αρτεσιανά. Το νερό αυτό ψύχεται σε πύργους ψύξης.

Ατμοστρόβιλοι

Ο ατμοστρόβιλος είναι μια μηχανή εναλλαγής ενέργειας. Ο ατμός από το λέβητα εισέρχεται στο στρόβιλο και αποδίδει την κινητική ενέργειά του πάνω στα πτερύγια του στρόβιλου και μέσω αυτών στον άξονα.

Στο στρόβιλο ο ατμός μπαίνει σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Ως παράδειγμα αναφέρουμε το στρόβιλο της μονάδας I του ατμοηλεκτρικού σταθμού του Λαυρίου. Η πίεση του ατμού είναι 141 kp/cm^2 και η θερμοκρασία 541°C [3].

Τα είδη των στρόβιλων είναι δύο:

- Στρόβιλοι δράσης
- Στρόβιλοι αντίδρασης

Η αρχή λειτουργίας του στρόβιλου βασίζεται στην εκτόνωση του ατμού από ένα δοχείο υψηλής πίεσης σε ένα χαμηλής. Κατά την εκτόνωση του ατμού μετατρέπεται η θερμική του ενέργεια σε κινητική. Η ταχύτητα του ατμού κατά τη μετάβαση από το δοχείο υψηλής πίεσης σε αυτό της χαμηλής αυξάνει όσο αυξάνει η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο δοχείων. Η κινητική ενέργεια του ατμού συλλέγεται παρεμβάλλοντας, κατά τη ροή του, τα πτερύγια του στρόβιλου τα οποία με τη σειρά τους στρεφόμενα μεταφέρουν την κίνηση στον άξονά του.

Η ποσότητα του ατμού που εισέρχεται στο στρόβιλο ρυθμίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος. Σε περίπτωση που μειωθεί το φορτίο, εφόσον δε μειωθεί η παροχή ατμού, θα αυξηθούν οι στροφές του στροβίλου ενώ στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή αυξηθεί το φορτίο, θα μειωθούν οι στροφές. Σε περίπτωση αλλαγής στροφών αλλάζει και η συχνότητα της τάσης που παράγεται, πράγμα που προκαλεί σοβαρές ανωμαλίες. Για αυτόν το λόγο υπάρχουν πάντοτε αυτόματοι ρυθμιστές της παροχής ατμού [2][3][4].

Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των ΑΗΣ

Στον άξονα του αμοστροβίλου συνδέεται η στροβιλογεννήτρια με τη διεγέρτριά της. Η στροβιλογεννήτρια είναι τριφασική σύγχρονη γεννήτρια (εναλλακτήρας). Το συνεχές ρεύμα που χρειάζεται για τη διέγερσή της το παράγει η διεγέρτρια. Οι στροβιλογεννήτριες έχουν περιστρεφόμενους πόλους ενώ το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου βρίσκεται στο στάτη. Ο αμοστρόβιλος έχει καλό βαθμό απόδοσης σε υψηλές στροφές. Στις υψηλές στροφές όμως έχουμε μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις για αυτό οι στροβιλογεννήτριες έχουν μικρή διάμετρο και μεγάλο μήκος. Το ρεύμα για το τύλιγμα διαβιβάζεται μέσω δακτυλιδίων και ψηκτρών που εφάπτονται πάνω σε αυτά.

Συνήθως οι στροβιλογεννήτριες εργάζονται στις 3000 στροφές/λεπτό και η πολική τάση τους κυμαίνεται από 3KV μέχρι 20 KV. Η συχνότητα του δικτύου είναι 50Hz[3].

Κάθε ατμοηλεκτρική μονάδα διαθέτει πλήθος κινητήρων, οργάνων και διατάξεων. Υπάρχουν αντλίες λαδιού, νερού, όργανα μετρήσεων, επιτήρησης, ελέγχου. Τα περισσότερα όργανα βρίσκονται στην αίθουσα ελέγχου. Από την αίθουσα ελέγχου γίνεται όλη η παρακολούθηση της λειτουργίας της μονάδας.

Οι γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρικά με τον υποσταθμό ανύψωσης της τάσης. Από τον υποσταθμό ξεκινούν γραμμές μεταφοράς.

Οι καταναλώσεις του σταθμού είναι πολλές: φωτισμός, αντλίες κυκλοφορίας νερού, λαδιού, λειτουργία οργάνων, ρυθμιστές κ.α.. Κάθε ατμοηλεκτρική μονάδα καταναλώνει το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει για δικές της ανάγκες. Για την κάλυψη των αναγκών αυτών υπάρχει πάντα ένας υποσταθμός κοντά στη μονάδα παραγωγής.

Ο βαθμός απόδοσης των ατμοηλεκτρικών μονάδων είναι περίπου 30%. Οι απώλειες κατανέμονται σε απώλειες λέβητα 16%, ψυγείου 54% και γεννήτριας 1% περίπου [3].

Καύσιμα των ΑΗΣ

Στην Ελλάδα οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιγνίτη, με μικρή προσθήκη λιθανθράκων και το πετρέλαιο. Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει και η χρήση φυσικού αερίου.

Η ποιότητα του καυσίμου καθορίζεται από τη θερμογόνο δύναμη. Η θερμογόνος δύναμη μετράται σε Kcal/kg καυσίμου.

Πίνακας 2.1 Θερμογόνος δύναμη καυσίμων [3]

Στερεά καύσιμα (kcal/kg)		Αέρια καύσιμα (kcal/Nm ³)	
Ανθρακίτης	6000-8000	Μεθάνιο	8000
Κωκ	7000	Προπάνιο	21000
Λιγνίτης	2500-6000	Φωταέριο	3500
Τύρφη	1500-3000	Αέριο υψικαμίνων	900
Πετρέλαιο μαζούτ	10000	Αέριο κωκ	4000
Πετρέλαιο Diesel	10200		

Στην Ελλάδα υπάρχουν μεγάλα κοιτάσματα λιγνίτη. Για οικονομικότερη καύση του ο λιγνίτης αναμειγνύεται με μικρές ποσότητες ανθρακίτη.

Τα στερεά ορυκτά καύσιμα δηλαδή οι γαιάνθρακες βρίσκονται σε μεγαλύτερα ή μικρότερα βάθη μέσα στο έδαφος, από το οποίο εξορύσσονται. Οι γαιάνθρακες αναλόγως της γεωλογικής τους ηλικίας, δηλαδή της γεωλογικής εποχής κατά την οποία σχηματίστηκαν, διακρίνονται σε διάφορους τύπους οι οποίοι από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι κατά σειρά οι εξής:

- Ανθρακίτης
- Ημιανθρακίτης
- Ημιπισσούχος γαιάνθρακας
- Πισσούχος γαιάνθρακας
- Υποπισσούχος γαιάνθρακας
- Λιγνίτης
- Τύρφη

Τα στερεά ορυκτά καύσιμα περιέχουν ποσοστά υγρασίας, τέφρας και πτητικών υλών που ποικίλουν από ορυκτό σε ορυκτό και επηρεάζουν την θερμογόνο δύναμη τους [5]. Η παραπάνω κατάταξη είναι ανάλογη του βαθμού ανθρακοποίησης (από τον μεγαλύτερο προς το μικρότερο). Γενικά, όσο χαμηλότερος ο βαθμός του άνθρακα, τόσο μικρότερη είναι η θερμογόνος δύναμη και τόσο μεγαλύτερη η περιεχόμενη υγρασία και τα πτητικά συστατικά και τελικά τόσο χειρότερο το καύσιμο [6].

Τα υγρά ορυκτά καύσιμα προέρχονται κατά κανόνα από τη διύλιση του αργού πετρελαίου, το οποίο και αυτό εξορύσσεται από το υπέδαφος. Τα χρησιμοποιούμενα κυρίως προϊόντα διυλίσεως είναι είτε το ντίζελ (Diesel ή Gas Oil) είτε το βαρύ πετρέλαιο - μαζούτ [6].

Στο σύνολό τους τα αέρια καύσιμα είτε είναι ορυκτά καύσιμα είτε παράγονται από αυτά. Μπορούν να καταταγούν σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες:

- Φυσικά αέρια
- Παρασκευαζόμενα αέρια
- Αέρια παραπροϊόντα [6]

Τα παρασκευαζόμενα αέρια καύσιμα, προέρχονται από την εξαέρωση στερεών καυσίμων ή από υποπροϊόντα της διύλισης του πετρελαίου και χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρό βαθμό [7].

Φυσικό αέριο

Το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παγκόσμια πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας βρισκόταν στο 23% (2000) και αυξάνεται σταθερά. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση κάλυπτε το 1999 πάνω από το 20% των πρωτογενών αναγκών σε ενέργεια. Η Eurogas προβλέπει ότι αυτό το ποσοστό θα ανέλθει στο 27% μέχρι το 2020, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του φυσικού αερίου ως καυσίμου [11].

Τα αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου επαρκούν για 70 χρόνια περίπου με τη σημερινή παραγωγή. Άλλα αποθέματα θα ανακαλυφθούν ή κάποια ήδη γνωστά θα καταστούν εκμεταλλεύσιμα και εκτιμάται ότι συνολικά θα επαρκούν για τουλάχιστον 100 χρόνια. Το φυσικό αέριο παράγεται ή χρησιμοποιείται σε πάνω από 100 χώρες στον κόσμο και ο αριθμός αυτός συνεχώς αυξάνεται [12].

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στην Ελλάδα αποφασίστηκε από την πολιτεία στα πλαίσια της προσπάθειας εκσυγχρονισμού και βελτίωσης του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας.

Η βασική υποδομή του ελληνικού συστήματος φυσικού αερίου περιλαμβάνει:

- Τον κύριο αγωγό μήκους 511 χιλιομέτρων που εκτείνεται από τα βόρεια σύνορα μέχρι την Αττική με παράπλευρους κλάδους συνολικού μήκους 400 χιλιομέτρων.
- Τον τερματικό σταθμό του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στην νησίδα Ρεβυθούσα, στον κόλπο των Μεγάρων.
- Τα δίκτυα διανομής φυσικού αερίου στις διάφορες πόλεις.

Η Ελλάδα προμηθεύεται φυσικό αέριο από δύο διαφορετικές χώρες, την Ρωσία και την Αλγερία. Το φυσικό αέριο από τη Ρωσία φθάνει μέσω αγωγού ενώ αυτό από την Αλγερία μεταφέρεται με ειδικό δεξαμενόπλοιο σε υγροποιημένη μορφή (LNG). Οι συνολικές ποσότητες του φυσικού αερίου σε πλήρη ανάπτυξη της αγοράς αναμένεται να φθάσουν τα 4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα περίπου το χρόνο.

Το φυσικό αέριο είναι μείγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο (CH_4). Εξάγεται από φυσικές κοιλότητες, υπόγειες ή

υποθαλάσσιες και υφίσταται μια πρωτογενή επεξεργασία πριν διοχετευθεί στην κατανάλωση. Δεν περιέχει μονοξειδίο του άνθρακα και δεν είναι τοξικό. Επίσης είναι ελαφρύτερο του αέρα.

Η συμμετοχή του φυσικού αερίου στην παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας χρονολογείται από τα τέλη του περασμένου αιώνα. Η θέση του όμως στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά ισχυροποιήθηκε κατά τη τελευταία τριακονταετία υπό την επίδραση των ενεργειακών κρίσεων του 1973 και του 1979 και της προσπάθειας για μειωμένη εξάρτηση από το πετρέλαιο καθώς και χάρη στα περιβαλλοντικά του πλεονεκτήματα.

Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, το φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το μαζούτ. Η καθαρότητά του και η ποιότητά του συντελούν σε περισσότερο αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία της μονάδας και σημαντικά μειωμένη συντήρηση. Τα προβλήματα προμήθειας και αποθήκευσης που υπάρχουν με τη χρήση άλλων καυσίμων, υγρών και στερεών, με το φυσικό αέριο παύουν να υφίστανται, καθόσον αυτό μεταφέρεται εύκολα με σωληνώσεις σε όλα τα σημεία κατανάλωσής του. Το φυσικό αέριο αναμειγνύεται πολύ εύκολα με τον αέρα και τα προϊόντα της καύσεως που δίνει είναι ελεύθερα θείου.

Η χρήση του φυσικού αερίου συμβάλλει επίσης στον περιορισμό των μεταλλικών ρύπων. Στον άνθρακα και στο πετρέλαιο υπάρχουν π.χ. ίχνη υδραργύρου, μολύβδου, βαναδίου και νικελίου τα οποία δεν περιέχονται στο φυσικό αέριο.

Επιπρόσθετα η ατμοσφαιρική ρύπανση περιορίζεται φυσικά και μέσω της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμων η οποία επιτυγχάνεται με τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης της καύσης. Το φυσικό αέριο παρουσιάζει αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά τη χρήση του, προσφέροντας μείωση της κατανάλωσης καυσίμων κατά 4-10%.

Στον Πίνακα 2.2 συγκρίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία διαφόρων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής [7].

Πίνακας 2.2: Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία θερμοηλεκτρικών σταθμών [7]

Τύπος Εγκατάστασης	Σταθμός Άνθρακα	Σταθμός Μαζούτ	Σταθμός με ΦΑ	Σταθμός Συνδυασμένου κύκλου με ΦΑ
Ισχύς (MW)	1000	1000	1000	1000
Καύσιμο	Άνθρακας	Μαζούτ	ΦΑ	ΦΑ
Καταναλώσεις	2,1. 10 ⁶ (ton/year)	1,3. 10 ⁶ (ton/year)	1,5. 10 ⁶ NM ³ /year	1,2. 10 ⁶ NM ³ /year
Ατμοσφαιρικές Εκπομπές				
SO₂ (ton/year)	8340	6250	Αμελητέα	Αμελητέα
NO_x (ton/year)	4170	3130	2900	2390
Σωματίδια (ton/year)	1040	780	75	60
CO₂ (ton/year)	5500000	4200000	2900000	2350000
Στερεά Υπολείμματα (ton/year)				
Σύνολο τέφρας	315000	4800	-	-
Γύψος	96000	212000	-	-
Θερμικές Απώλειες				
Στον αέρα(MJ/year)	8 . 10 ⁹	7,6 . 10 ⁹	7,2 . 10 ⁹	8,8 . 10 ⁹
Στο νερό(MJ/year)	25 . 10 ⁹	24 . 10 ⁹	23 . 10 ⁹	12,75 . 10 ⁹
Ηλεκτρική Ενέργεια				
(GWh/year)	6000	6000	6000	6000

2.2.2 Θερμικοί Σταθμοί Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.)

Σταθμοί Ντηζελομηχανών

Πρόκειται για παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ) που χρησιμοποιούν ως καύσιμο ντίζελ (Diesel) ή βαρύ πετρέλαιο. Είναι της τάξης των 30 kW μέχρι 1 MW, αλλά μπορούν να κατασκευαστούν και μικρότερα ή μεγαλύτερα μεγέθη. Η ισχύς των μηχανών αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με το υψόμετρο λειτουργίας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη θερμοκρασία του νερού ψύξης.

Οι συνήθεις ταχύτητες λειτουργίας των μηχανών αυτών κυμαίνονται από 1200-1800 rpm, αλλά φθάνουν και σε μικρές τιμές της τάξης των 400 rpm, ή και χαμηλότερα. Για περιπτώσεις εγκαταστάσεων εφεδρείας προτιμώνται οι οικονομικότερες

ντηζελομηχανές μεγάλης ταχύτητας λειτουργίας και μικρού μεγέθους, οι οποίες λειτουργούν με ελαφρά καύσιμα. Για συνεχή λειτουργία προτιμώνται μεγάλα μεγέθη ντηζελομηχανών μικρής ταχύτητας που χρησιμοποιούν βαρύ καύσιμο, γιατί έχουν μεγαλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μικρές απαιτήσεις συντήρησης. Οι περισσότερες ντηζελομηχανές είναι 4-χρονης, αλλά στην ευρύτερη περιοχή μικρών ταχυτήτων υπάρχουν και πολλές 2-χρονης[8].

Τα πλεονεκτήματα των μηχανών diesel απέναντι στις ατμοκίνητες είναι:

- Ελαφρότερες για την ίδια ισχύ
- Τίθενται σε λειτουργία και φορτίζονται αμέσως
- Δεν έχουν πολύπλοκες εγκαταστάσεις
- Έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης σε μικρές και μέσες ισχύς (μέχρι 5000 kW)
- Χρειάζονται λιγότερο χώρο για της εγκαταστάσεις
- Λειτουργούν με λίγο προσωπικό

Τα μειονεκτήματα είναι :

- Χρειάζονται συχνά συντήρηση και ειδικευμένο προσωπικό
- Παθαίνουν συχνά βλάβες

Για μικρές ισχύεις (μέχρι 1000KW) έχουμε πάντοτε MEK.

Οι μηχανές diesel έχουν καλό βαθμό απόδοσης όταν λειτουργούν στο 75 ως 80% της ονομαστικής τους ισχύος. Για λειτουργία κάτω από το 50% της ονομαστικής τους ο βαθμός απόδοσης πέφτει πολύ χαμηλά.

Οι σταθμοί αυτοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με εναλλασσόμενο ρεύμα συνήθως χαμηλής τάσης, τριφασικό με 220/380V, 50Hz. Σπάνια παράγεται μεγαλύτερη τάση μέχρι 15kV, 50Hz. Οι γεννήτριες είναι σύγχρονες και το συνεχές ρεύμα για τη διέγερσή τους το παράγουν διεγέρτριες που είναι συνδεδεμένες στον ίδιο άξονα όπως και στις στροβιλογεννήτριες. Επειδή η ισχύς των σταθμών αυτών είναι μικρή και η τάση δε μετασχηματίζεται δεν έχουμε μετασχηματιστές και μεγάλους αυτόματους διακόπτες.

Όπως στις στροβιλογεννήτριες έτσι και εδώ οι στρόφες της γεννήτριας (άρα και της μηχανής diesel) πρέπει να διατηρούνται σταθερές ώστε η συχνότητα να παραμένει σταθερή (50Hz) [3].

Σταθμοί Αεριοστροβίλων

Οι αεριοστρόβιλοι είναι περιστροφικές μηχανές όπως οι ατμοστρόβιλοι και ανήκουν στην κατηγορία των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης. Ως καύσιμο χρησιμοποιούν συνήθως ελαφρύ πετρέλαιο με απόσταξη στους 200-250°C. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και βαρύ πετρέλαιο καθώς και φυσικό αέριο.



Εικόνα 2.2 Αεριοστρόβιλος H Series General Electric

Οι αεριοστρόβιλοι κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- α) Ανοικτού κυκλώματος
- β) Κλειστού κυκλώματος
- γ) Μεικτού κυκλώματος

Σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά οι αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος [3].

Ένας αεριοστρόβιλος στην πιο απλοποιημένη του μορφή αποτελείται από ένα συμπιεστή, ένα θάλαμο καύσης, ένα στρόβιλο ο οποίος δίνει κίνηση στο συμπιεστή και μια ηλεκτρογεννήτρια. Οι τρεις παραπάνω μηχανές είναι συνδεδεμένες σε έναν άξονα. Επιπλέον μπορεί να υπάρχει αναθερμαντήρας για την προθέρμανση του αέρα πριν μπει στο θάλαμο καύσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η θερμότητα των καυσαερίων που εξέρχονται από το στρόβιλο.

Η μηχανή ξεκινά με ένα εκκινητή π.χ. με ένα ηλεκτροκινητήρα. Τότε ο συμπιεστής αναρροφά αέρα και τον συμπιέζει σε 5-15 k_p/cm². Ο συμπιεσμένος αέρας μπαίνει στο θάλαμο καύσης όπου ψεκάζεται και πετρέλαιο από τον εγχυτήρα. Τότε γίνεται η καύση από την οποία παράγονται καυσαέρια. Αυτά τα καυσαέρια οδηγούνται στο στρόβιλο όπου περνώντας από τα περύγιά του τον περιστρέφουν. Ο στρόβιλος στη συνέχεια περιστρέφει το συμπιεστή, κάτι που απορροφά σημαντικό μέρος του έργου του στρόβιλου. Τέλος τα καυσαέρια βγαίνουν στην ατμόσφαιρα με χαμηλή πίεση. Στον άξονα του στρόβιλου είναι συνδεδεμένη η ηλεκτρογεννήτρια και έτσι έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [4].

Η μέγιστη ισχύς μιας μονάδας αεριοστρόβιλου ξεπερνά σήμερα τα 100 MW. Ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 24 και 35%. Χρησιμοποιούνται κατά κανόνα ως μονάδες φορτίου αιχμής [4].

Τα πλεονεκτήματα των αεριοστρόβιλων σε σχέση με τους ατμοστρόβιλους είναι:

- πρόκειται για μηχανές απλούστερες και συνεπώς απαιτείται λιγότερο προσωπικό. Η συντήρηση είναι απλούστερη.
- Δεν απαιτείται τροφοδοσία νερού.
- Ξεκινούν εύκολα και φτάνουν γρήγορα από την κατάσταση μηδενικού φορτίου στην πλήρη φόρτιση. Δηλαδή μπορούν να εξυπηρετήσουν αιχμές φορτίου.
- Έχουν χαμηλές πιέσεις λειτουργίας 5-15 k_p/cm².

Τα μειονεκτήματά τους σε σχέση με τους ατμοστρόβιλους είναι:

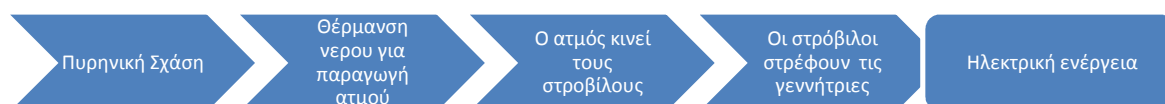
- Τα καύσιμα που χρησιμοποιούν είναι ακριβά.
- Έχουν μικρό βαθμό απόδοσης. Απαιτούνται 300-350 γραμμάρια καυσίμου ανά Hp και ανά ώρα λειτουργίας ενώ οι ατμοστρόβιλοι 230-270 αντίστοιχα [3].

2.2.3 Πυρηνικοί Σταθμοί

Θερμοηλεκτρικοί Πυρηνικοί Σταθμοί

Οι θερμοηλεκτρικοί πυρηνικοί σταθμοί λειτουργούν με τον ίδιο σχεδόν τρόπο που λειτουργούν και οι συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί που καταναλώνουν ορυκτά καύσιμα. Η βασική διαφορά των δύο είναι ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η ατμοπαραγωγή. Οι συμβατικοί σταθμοί συλλέγουν την απαραίτητη ενέργεια με την καύση ορυκτών καυσίμων, εκμεταλλεύονται δηλαδή τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε αυτές τις ενώσεις. Αντιθέτως οι πυρηνικοί σταθμοί χρησιμοποιούν την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στους πυρήνες των σχάσιμων υλικών. Επειδή η ενέργεια ανά μάζα που είναι αποθηκευμένη στους πυρήνες των σχάσιμων υλικών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των χημικών ενώσεων των ορυκτών καυσίμων, γίνεται κατανοητό ότι για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας απαιτείται πολύ μικρότερη ποσότητα πυρηνικού από ότι ορυκτού καυσίμου. Γενικά η διαφορά ενός πυρηνικού σε σχέση με έναν συμβατικό σταθμό βρίσκεται στο ότι ο πρώτος χρησιμοποιεί πυρηνικό αντιδραστήρα για την ατμοπαραγωγή ενώ ο δεύτερος καυστήρα. Ακόμη υπάρχουν διαφορές στις κτιριακές εγκαταστάσεις που υποστηρίζουν τους σταθμούς κυρίως λόγω της επικινδυνότητας των ραδιενεργών ιχνοστοιχείων και της ανάγκης για πλήρη απομόνωσή τους από το περιβάλλον.

Τα βασικά βήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πυρηνικό θερμοηλεκτρικό σταθμό είναι τα εξής:



Τα βασικά μέρη που αποτελούν το Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής είναι σχεδόν όμοια με αυτά των ατμοηλεκτρικών σταθμών (όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω) και επιγραμματικά είναι :

- Οι στρόβιλοι Υψηλής ή χαμηλής πίεσης πρόκειται για τα μηχανήματα που μετατρέπουν μέρος της ενέργειας του παραγόμενου ατμού σε κινητική ενέργεια.
- Γεννήτρια. Συνήθως είναι παραπάνω από μια, πρόκειται για το μηχανήμα που μετατρέπει την κινητική ενέργεια από τις στρόβιλοι σε ηλεκτρισμό.
- Συμπυκνωτής. Ονομάζεται η συσκευή στην οποία ο ατμός που εξέρχεται από την στρόβιλος που λειτουργεί στη χαμηλότερη πίεση μετατρέπεται σε νερό.

Ουσιαστικά είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο ατμός αποδίδει θερμότητα σε ένα ψυκτικό μέσο (νερό).

- Πύργος Ψύξης. Και αυτή η κατασκευή είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου το νερό που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό στο συμπυκνωτή ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και η θερμότητά του απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.
- Αντλίες. Υπάρχουν πολλών ειδών αντλίες σε διάφορα μέρη τις εγκατάστασης, σκοπός τους είναι να διευκολύνουν την κυκλοφορία των ρευστών στα διάφορα επίπεδα της διαδικασίας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για λόγους ασφαλείας κάθε αντλία διαθέτει από δύο εφεδρικές, η μια από τις οποίες θα πρέπει να λειτουργεί με άεργο φορτίο για να είναι σε ετοιμότητα. Αυτό ανεβάζει πολύ το κόστος της εγκατάστασης αφού ειδικά για την ψύξη του αντιδραστήρα χρειάζονται αντλίες ικανές να μετακινούν μεγάλες ποσότητες ψυκτικού μέσου σε υψηλές πιέσεις οι οποίες είναι πολύ ακριβές και στην απόκτηση και στη λειτουργία τους (πράγμα που επηρεάζει το συντελεστή απόδοσης της εγκατάστασης).

Φυσική του πυρηνικού αντιδραστήρα

Στη φύση υπάρχουν στοιχεία ο πυρήνας των οποίων εμφανίζει την τάση να διασπάται σε δύο μικρότερους πυρήνες εκλύοντας παράλληλα ενέργεια. Οι πυρήνες αυτοί ονομάζονται φυσικά ραδιενεργά ισότοπα η ενέργεια που εκλύουν ωστόσο δεν είναι αρκετή για εμπορική εκμετάλλευση. Κάτι τέτοιο μπορεί να καταστεί δυνατό μέσα από τη διαδικασία της πυρηνικής σχάσης. Κατά τη διαδικασία της πυρηνικής σχάσης, ένα νετρόνιο συγκρούεται με ένα βαρύ πυρήνα (π.χ. ουράνιο) διασπώντας τον σε δύο ελαφρότερους πυρήνες, με ταυτόχρονη απελευθέρωση νετρονίων και ενέργειας. Τα νετρόνια με τη σειρά τους προκαλούν νέες διασπάσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αλυσιδωτής αντίδρασης. Η περιγραφή του φαινομένου φαίνεται στη σχάση του του ατόμου του ουρανίου ^{235}U , το οποίο διασπάται σε βάριο και κρυπτό απελευθερώνοντας τρία νετρόνια:



Εάν ζυγιστούν τα επιμέρους στοιχεία στην παραπάνω αντίδραση, θα βρεθεί ότι τα προϊόντα στο δεξί μέρος αυτής ζυγίζουν 0,091% λιγότερο από τα αντιδρώντα στο αριστερό της μέρος. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, σχεδόν 0,1% της αρχικής μάζας του ουρανίου μετατρέπεται σε ενέργεια. Η ενέργεια αυτή, εμφανίζεται ως κινητική ενέργεια των προϊόντων της σχάσης και των νετρονίων, τα οποία συγκρούονται με γειτονικά άτομα απελευθερώνοντας θερμότητα. Για κάθε κιλό σχάσιμου ^{235}U βάση της παραπάνω αντίδρασης $8 \cdot 10^{13}$ Joule απελευθερώνονται. Το ποσό αυτό είναι ισοδύναμο με τη διαθέσιμη ενέργεια 3000 τόνων άνθρακα.

Το ^{235}U περιγράφεται ως σχάσιμο ισότοπο. Στην φύση, το ουράνιο αποτελείται κυρίως (99,3%) από μη σχάσιμο ισότοπο, ^{238}U . Η αναλογία ^{235}U στο φυσικό ουράνιο

είναι μόλις 0,71% κατά βάρος. Τελικά κάθε κιλό φυσικού ουρανίου παρέχει ενέργεια ισοδύναμη με περίπου 20 τόνους άνθρακα.

Τα τρία νετρόνια που εκπέμπονται στην παραπάνω αντίδραση σχάσης έχουν ταχύτητα 20000km/sec (6% την ταχύτητα του φωτός). Παρόλο που τα ταχέα νετρόνια μπορούν να αντιδράσουν με άλλα άτομα ^{235}U , οι πιθανότητες αυξάνονται περίπου 1000 φορές αν η ταχύτητά τους μειωθεί στα 2 km/sec. Τα νετρόνια αυτά ονομάζονται θερμικά νετρόνια (σε αντιδιαστολή με τα ταχέα νετρόνια). Πυρηνικοί αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν ταχέα νετρόνια ονομάζονται *fast reactors* (αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων), ενώ όσοι χρησιμοποιούν θερμικά νετρόνια *thermal reactors* (αντιδραστήρες θερμικών νετρονίων).

Για την επιβράδυνση των ταχέων νετρονίων σε θερμικά, απαιτείται η παρουσία ενός υλικού, το οποίο θα επιβραδύνει τα νετρόνια χωρίς όμως να τα απορροφά. Τέτοια υλικά καλούνται επιβραδυντές, ειδικά δε στους θερμικούς αντιδραστήρες περιέχουν υδρογόνο (με τη μορφή οξειδίου - νερό) ή άνθρακα (γραφίτης)

Επειδή το ^{238}U απορροφά νετρόνια, δεν είναι δυνατή η παραγωγή αυτοσυντηρούμενης αλυσιδωτής αντίδρασης. Εντούτοις, εάν φυσικό ουράνιο τοποθετηθεί μέσα σε επιβραδυντή βαρέως ύδατος (διοξείδιο του δευτερίου, deuterium oxide D_2O) ή γραφίτη, τα νετρόνια που παράγονται μετατρέπονται σε θερμικά και η αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση είναι εφικτή. Το ελαφρύ ύδωρ δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση αλυσιδωτής αντίδρασης εξαιτίας της μεγάλης απορροφητικότητας σε θερμικά νετρόνια. Πυρηνικοί αντιδραστήρες δύναται να κατασκευαστούν με ελαφρύ ύδωρ (το οποίο προτιμάται λόγω της διαθεσιμότητάς του και του χαμηλού του κόστους σε σχέση με το βαρύ ύδωρ) αν η συγκέντρωση του ^{235}U από 0,71% αυξηθεί σε περίπου 3 – 4%. Η διαδικασία αύξησης της συγκέντρωσης του ^{235}U ονομάζεται εμπλουτισμός [9].

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες

Πυρηνικοί αντιδραστήρες ονομάζονται τα μηχανήματα στα οποία λαμβάνει χώρα η σχάση του αντιδρώντος υλικού, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και η απαγωγή της θερμότητας, που η σχάση παράγει, με κάποιο ψυκτικό μέσο. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες περιέχουν διατάξεις που μπορούν όχι μόνο να συντηρούν την αλυσιδωτή αντίδραση σχάσεων αλλά και να την ελέγχουν, καθιστώντας έτσι δυνατή την έναρξη αλλά και τη λήξη λειτουργίας του αντιδραστήρα.

Ο πρώτος στον κόσμο πυρηνικός αντιδραστήρας τέθηκε για πρώτη φορά σε λειτουργία στις 2.12.1942 στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο των Η.Π.Α.. Πρόκειται για την ημερομηνία που για πρώτη φορά αποκαταστάθηκε σε ένα σύστημα συνθήκη κρισιμότητας. Το σύστημα αυτό ήταν ετερογενής διάταξη γραφίτη – φυσικού ουρανίου. Σε διάστημα 40 περίπου ετών από τότε έχουν κατασκευασθεί πάρα πολλοί πυρηνικοί αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς όπως είναι η ηλεκτροπαραγωγή, η παραγωγή ραδιοϊσοτόπων κ.α..

Τα βασικότερα στοιχεία που αποτελούν ένα πυρηνικό αντιδραστήρα αναφέρονται παρακάτω.

Καύσιμο. Συνήθως αποτελείται από σφαιρίδια οξειδίου του ουρανίου (UO_2) τοποθετημένα σε σωλήνες ώστε να σχηματίζουν τις λεγόμενες ράβδους καυσίμου. Οι ράβδοι με τη σειρά τους είναι διατεταγμένες σε συστοιχίες με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνουν τη βέλτιστη ψύξη κατά τη ροή του ψυκτικού ανάμεσά τους.

Επιβραδυντής. Πρόκειται για υλικό που βρίσκεται μέσα στον πυρήνα του αντιδραστήρα και χρησιμοποιείται για να επιβραδύνει τα νετρόνια (να τα μετατρέψει από ταχέα σε θερμικά όπως εξηγήθηκε σε άλλο κεφάλαιο) ώστε να επιτύχουμε περισσότερες σχάσεις. Είναι συνήθως νερό, αλλά μπορεί να είναι και βαρύ νερό ή γραφίτης.

Ράβδοι Ελέγχου. Είναι κατασκευασμένες από υλικό που απορροφά νετρόνια όπως το κάδμιο, το άφνιο ή το βόριο και εισέρχεται ή εξέρχεται από τον πυρήνα, του αντιδραστήρα, ώστε να ελέγξει το ρυθμό των σχάσεων ή και να τον σταματήσει. Σε μερικούς αντιδραστήρες (PWR), ειδικές ράβδοι ελέγχου χρησιμοποιούνται ώστε να παρέχεται η δυνατότητα στον πυρήνα να διατηρεί χαμηλό επίπεδο παραγωγής ενέργειας.

Πυρήνας. Είναι η περιοχή με τις δέσμες ράβδων του πυρηνικού καυσίμου και τον επιβραδυντή.

Ψυκτικό. Πρόκειται για υγρό ή αέριο που περνά μέσα από τον πυρήνα ώστε να απάγει την θερμότητα από αυτόν. Στους αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος (H_2O) το νερό που λειτουργεί ως επιβραδυντής χρησιμοποιείται και για την ψύξη του πυρήνα. Οι περισσότεροι αντιδραστήρες, εκτός από τους αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος, διαθέτουν πάντα ένα δευτερεύον σύστημα ψύξης όπου και δημιουργείται ο ατμός που κινεί τους ατμοστρόβιλους.

Δοχείο πίεσης ή σωλήνες πίεσης. Οι περισσότεροι αντιδραστήρες διαθέτουν ένα δοχείο πίεσης, αυτό είναι ένα κυλινδρικό δοχείο από χυτό ατσάλι που αντέχει μεγάλες πιέσεις και περιέχει τον πυρήνα του αντιδραστήρα. Αντί δοχείου πίεσης ένας αντιδραστήρας μπορεί να έχει ένα σύνολο σωλήνων, που να αντέχουν υψηλές πιέσεις, διαμέσου των οποίων ρέει το ψυκτικό.

Γεννήτρια ατμού (εκτός των αντιδραστήρων ζέοντος ύδατος) Αποτελεί μέρος του συστήματος ψύξης όπου το πρωτεύον ψυκτικό που φέρει τη θερμότητα του πυρήνα του αντιδραστήρα χρησιμοποιείται για να παράγει ατμό για τον ατμοστρόβιλο. Οι αντιδραστήρες μπορεί να έχουν μέχρι και τέσσερα κυκλώματα με γεννήτριες ατμού ώστε να επιτύχουν καλύτερο συντελεστή απόδοσης.

Κτίριο περιορισμού. Το κτίριο που περιέχει τον πυρήνα του αντιδραστήρα και είναι σχεδιασμένο να τον προστατεύει από οποιονδήποτε εξωτερικό κίνδυνο αλλά και να συγκρατεί κάθε μορφή ακτινοβολία, από τη λειτουργία αυτού, ώστε να μην εξέλθει στο περιβάλλον. Αποτελείται συνήθως από τοιχώματα τσιμέντου και ατσαλιού ενός μέτρου παχιά [10][11][12][13][14][15].

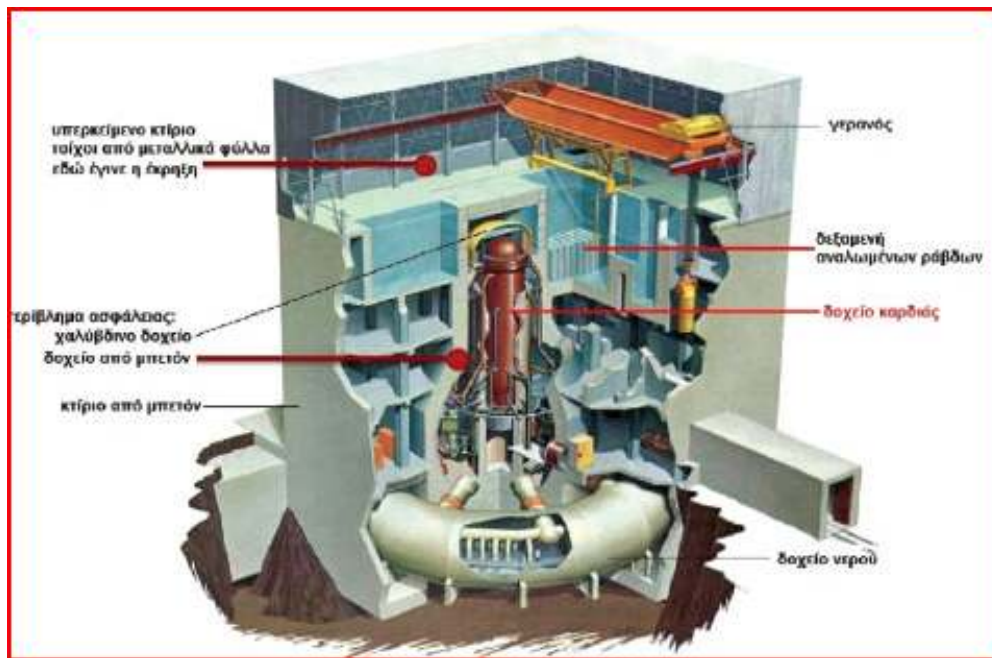
Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντιδραστήρων κάποια στοιχεία των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3 Συγκεντρωτικά Στοιχεία Πυρηνικών Σταθμών[11]						
Τύπος Αντιδραστήρα	Χώρες	Πλήθος	GWe	Καύσιμο	Ψυκτικό	Επιβραδυντής
Πεπιεσμένου ύδατος (PWR)	ΗΠΑ, Γαλλία, Ιαπωνία, Ρωσία, Κίνα	265	251.6	Εμπλουτισμένο UO ₂	Νερό (H ₂ O)	Νερό H ₂ O
Ζέοντος ύδατος (BWR)	ΗΠΑ, Ιαπωνία, Σουηδία	94	86.4	Εμπλουτισμένο UO ₂	Νερό (H ₂ O)	Νερό H ₂ O
Πεπιεσμένου βαρύ ύδατος 'CANDU' (PHWR)	Καναδάς	44	24.3	Φυσικό UO ₂	Βαρύ ύδωρ	Βαρύ ύδωρ
Αερίψυκτος (AGR & Magnox)	Ηνωμένο Βασίλειο	18	10.8	Φυσικό U, Εμπλουτισμένο UO ₂	CO ₂	Γραφίτης
Ελαφρού ύδατος γραφίτη (RBMK)	Ρωσία	12	12.3	Εμπλουτισμένο UO ₂	Νερό (H ₂ O)	Γραφίτης
Ταχέων νετρονίων (FBR)	Ιαπωνία, Ρωσία	2	1.0	PuO ₂ και UO ₂	Liquid sodium	Κανείς
Άλλος	Ρωσία	4	0.05	Εμπλουτισμένο UO ₂	Νερό (H ₂ O)	Γραφίτης

Παρακάτω θα περιγραφούν οι πιο διαδεδομένοι τύποι αντιδραστήρων. Αυτού του είδους οι αντιδραστήρες αποδίδουν και το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από πυρηνική ενέργεια.

Αντιδραστήρες ζέοντος ύδατος BWR

Οι αντιδραστήρες BWR χρησιμοποιούν αποσταγμένο νερό (H₂O) ως ψυκτικό μέσο και επιβραδυντή νετρονίων. Η θερμότητα παράγεται από την πυρηνική σχάση στον πυρήνα του αντιδραστήρα και προκαλεί το βρασμό του νερού δίνοντας ατμό. Ο ατμός αυτός χρησιμοποιείται απευθείας στις στρόβιλοι του εργοστασίου – για την παραγωγή ηλεκτρισμού – και στη συνέχεια ψύχεται στο συμπυκνωτή επιστρέφοντας πίσω στην υγρή φάση (νερό). Αυτό το νερό επανακατευθύνεται στον πυρήνα του αντιδραστήρα ξεκινώντας τη διαδικασία από την αρχή σχηματίζει δηλαδή ένα κλειστό κύκλωμα. Το ψυκτικό υγρό διατηρείται στις περίπου 70 atm (1000–1100 psi) ώστε ο βρασμός στον πυρήνα του αντιδραστήρα επέρχεται στους 285 °C (550 °F).



Εικόνα 2.3 Αντιδραστήρας ζέοντος ύδατος

Σε έναν BWR οι συστοιχίες των ράβδων καυσίμου αποτελούνται από 64 ράβδους ενώ ο αντιδραστήρας έχει περίπου 750 συστοιχίες στον πυρήνα του που περιέχουν συνολικά περίπου 155 τόνους ουρανίου. Ο αριθμός των συστοιχιών σε κάθε αντιδραστήρα εξαρτάται από την επιθυμητή παραγωγή ενέργειας, το μέγεθος του αντιδραστήρα και την ικανότητα ψύξης που διαθέτει. Παρακάτω αναφέρονται τα βασικότερα μέρη που αποτελούν έναν BWR αντιδραστήρα [10].

Ο συμπυκνωτής και το νερό τροφοδοσίας. Ο ατμός που εξέρχεται από την στρόβιλος ρέει σε συμπυκνωτές, που βρίσκονται κάτω από τις στρόβιλοι χαμηλής πίεσης, όπου ο ατμός ψύχεται και υγροποιείται. Το νερό στη συνέχεια προωθείται μέσα από εναλλάκτες θερμότητας που αυξάνουν τη θερμοκρασία του χρησιμοποιώντας απομαστευμένο ατμό. Έπειτα, το νερό, εισέρχεται στο δοχείο πίεσης του αντιδραστήρα –από ακροφύσια που είναι τοποθετημένα σε αυτό– πάνω από τις ράβδους καυσίμου αλλά κάτω από το επίπεδο του νερού.

Ο πυρήνας του αντιδραστήρα βρίσκεται στο εσωτερικό ενός χιτωνίου (shroud), που σχηματίζει με το δοχείο πίεσης ένα δακτυλιοειδή χώρο. Τα ακροφύσια ψεκάζουν το νερό, από τον συμπυκνωτή, στο πάνω μέρος του δακτυλιοειδούς αυτού χώρου όπου αναμειγνύεται με κορεσμένο νερό από τον πυρήνα. Ειδικές αντλίες προωθούν το υπόψυκτο υγρό προς τα κάτω όπου ξεπερνά το χιτώνιο και εισέρχεται στο εσωτερικό του πυρήνα όπου ψύχει τις ράβδους. Το νερό εξερχόμενο των ράβδων καυσίμου αποτελείται από 12 με 15% κορεσμένο ατμό (κατά μάζα), ενώ η τυπική παροχή ατμού κυμαίνεται από 6,500,000 kg/h έως 45,000,000 kg/h.

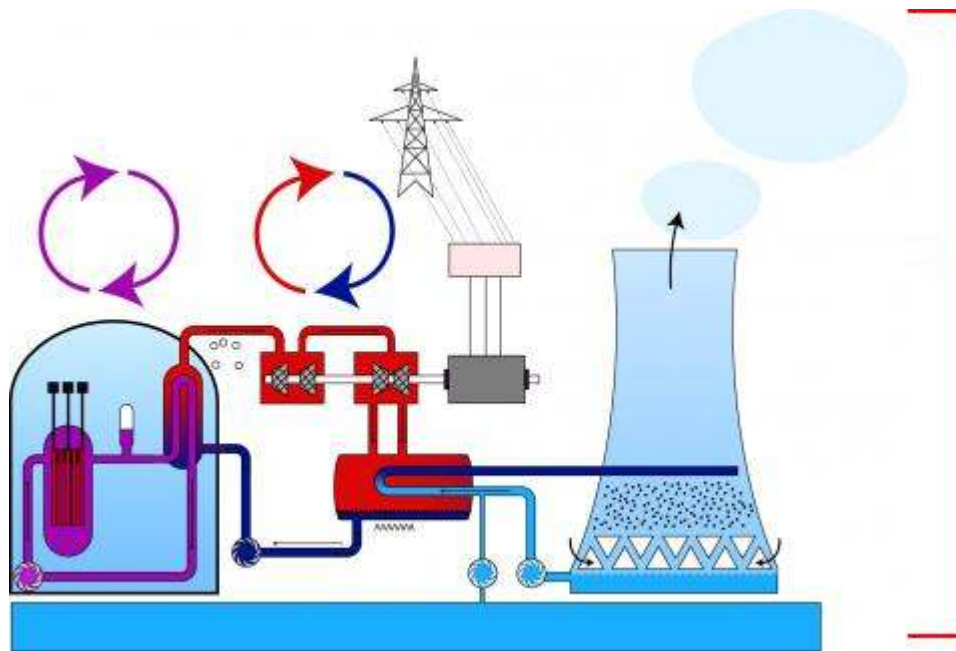
Συστήματα Ελέγχου. Η ισχύς του αντιδραστήρα ελέγχεται με δύο τρόπους είτε με τις ράβδους ελέγχου είτε με τη ροή του ψυκτικού.

Με την αλλαγή θέσεως των ράβδων ελέγχου μπορούμε να αυξάνουμε ή να μειώνουμε την ισχύ του. Αποσύροντας τις ράβδους ελέγχου από τον πυρήνα, η απορρόφηση των νετρονίων από αυτές μειώνεται και έτσι αυξάνεται ο πληθυσμός τους. Με αυτό τον τρόπο αυξάνουμε τον αριθμό των σχάσεων παράγοντας έτσι περισσότερη ενέργεια. Το αντίθετο συμβαίνει όταν εισάγουμε τις ράβδους ελέγχου, μειώνουμε τον πληθυσμό των νετρονίων μειώνοντας έτσι τις σχάσεις και την παραγόμενη ενέργεια.

Αλλάζοντας την ροή του νερού μπορούμε να κάνουμε πιο ακριβείς μεταβολές στη αποδιδόμενη ισχύ του αντιδραστήρα. Θεωρώντας τη θέση των ράβδων ελέγχου σταθερή και αυξάνοντας τη ροή του ψυκτικού οι φυσαλίδες ατμού που δημιουργούνται στην επιφάνεια των ράβδων καυσίμου, απομακρύνονται γρηγορότερα – έχοντας μικρότερο μέγεθος – η ποσότητα του νερού (επιβραδυντή) που περνά γίνεται μεγαλύτερη, έτσι δημιουργούνται περισσότερα νετρόνια και επιτυγχάνουμε περισσότερες σχάσεις. Μειώνοντας τη ροή του ψυκτικού επιτρέπουμε τη δημιουργία μεγαλύτερων φυσαλίδων ελαττώνοντας έτσι την ποσότητα του νερού (επιβραδυντή) – ο ατμός έχει μικρότερη μάζα για τον ίδιο όγκο σε σχέση με το νερό – μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τα θερμικά νετρόνια άρα και τις σχάσεις. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε να μη μειωθεί η ροή του ψυκτικού στο βαθμό που να μην επιτυγχάνει αποτελεσματική ψύξη γιατί τότε μπορεί να προκληθεί ατύχημα με υπερθέρμανση και τελικά τήξη του πυρήνα [10][11].

Αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος PWR

Όπως όλοι πυρηνικοί αντιδραστήρες έτσι και οι PWR συλλέγουν τη θερμότητα που παράγουν οι σχάσεις των πυρήνων του σχάσιμου υλικού που έχουν στον πυρήνα τους. Η διαφορά τους με τους BWR βρίσκεται στο ότι αυτοί χρησιμοποιούν δύο κύκλωμα ψυκτικού (το πρωτεύον και το δευτερεύον) για να κινήσουν με αυτή τη θερμότητα τις γεννήτριές τους. Το πρωτεύον ψυκτικό περνά μέσα από τον πυρήνα ψύχοντας τις ράβδους καυσίμου. Το θερμό ρευστό περνά στη συνέχεια από έναν εναλλάκτη θερμότητας, που ονομάζεται γεννήτρια ατμού, όπου ψύχεται με τη βοήθεια του δευτερεύοντος ψυκτικού, το οποίο έτσι, παραλαμβάνοντας θερμότητα μετατρέπεται σε ατμό υπό πίεση. Η μεταφορά θερμότητας επιτυγχάνεται χωρίς να έρθουν σε επαφή τα ψυκτικά υγρά κάτι που είναι επιθυμητό καθώς το πρωτεύον ψυκτικό έχει καταστεί ραδιενεργό λόγω της ακτινοβόλησής του στον πυρήνα. Το πρωτεύον ψυκτικό επιστρέφει στον πυρήνα σε χαμηλότερη θερμοκρασία, ώστε να συνεχίσει να τον ψύχει κλείνοντας έτσι το κύκλωμα.



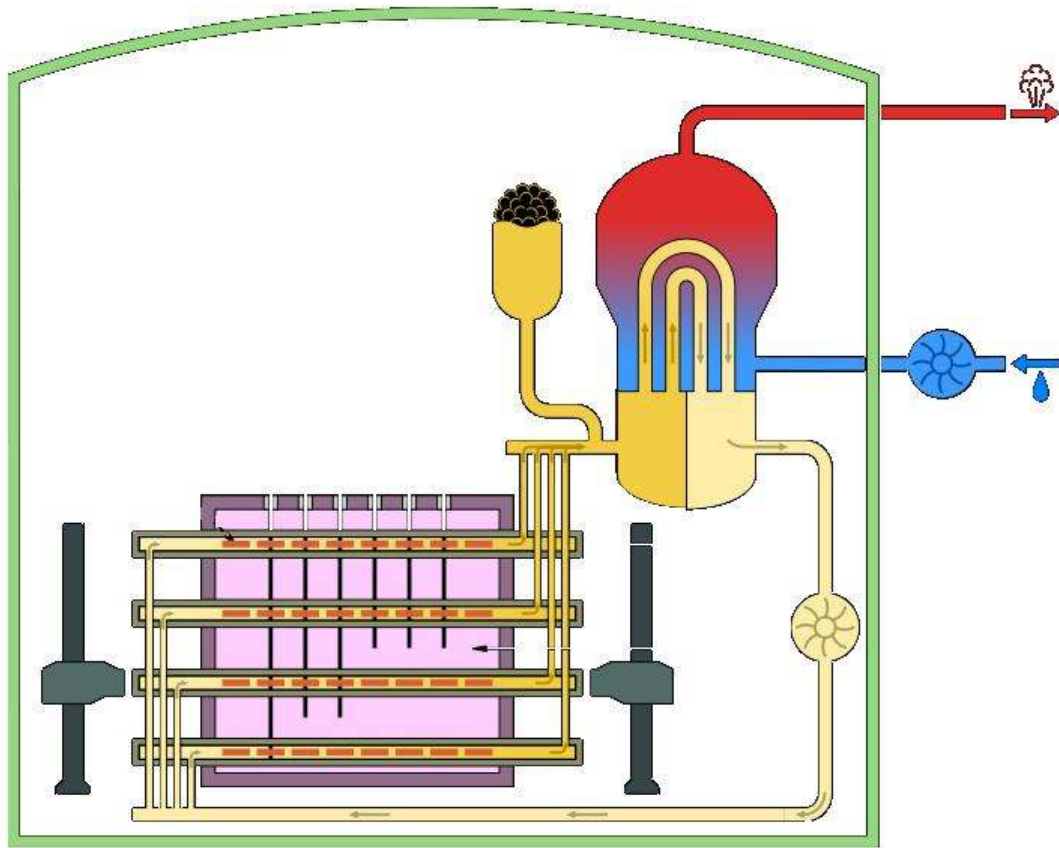
Εικόνα 2.4 Αντιδραστήρας πεπιεσμένου ύδατος

Ο ατμός που δημιουργήθηκε στη γεννήτρια ατμού χρησιμοποιείται για να κινήσει τις στρόβιλοι ώστε να παραχθεί ηλεκτρισμός από τις γεννήτριες με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και στο εργοστάσιο BWR. Στη συνέχεια συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και φτάνει στην υγρή κατάσταση (H_2O). Ο κύκλος του δευτερεύοντος ψυκτικού κλείνει με την επιστροφή του νερού στη γεννήτρια ατμού για να επαναληφθεί η διαδικασία.

Οι PWR αντιδραστήρες είναι πιο ασφαλείς από τους BWR για αυτό και είναι πιο διαδεδομένοι. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή το πρωτεύον ψυκτικό, που είναι σε επαφή με τον πυρήνα, βρίσκεται σε απομονωμένο σύστημα και δεν αναμιγνύεται με άλλα εξαρτήματα όπως οι στρόβιλοι ή ο συμπυκνωτής. Ακόμη το ψυκτικό μέσα στον πυρήνα βρίσκεται σε μονοφασική, υγρή κατάσταση κάτι που καθιστά τον αντιδραστήρα πολύ πιο ασφαλή σε περίπτωση ατυχήματος απώλειας ψυκτικού στο πρωτεύον κύκλωμα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του PWR σε σχέση με τον BWR, είναι ο χαμηλότερος συντελεστής απόδοσης λόγω των απωλειών ισχύος στο επιπλέον σύστημα ψύξης [10][11][16].

Αντιδραστήρες πεπιεσμένου βαρέως ύδατος CANDU

Οι αντιδραστήρες που λειτουργούν με βαρύ νερό είναι ένα υποείδος των αντιδραστήρων πεπιεσμένου ύδατος· αναπτύχθηκαν κυρίως στον Καναδά και είναι γνωστοί ως αντιδραστήρες CANDU από τα αρχικά των λέξεων CANadian Deuterium Uranium. Οι βασικές αρχές λειτουργίας των αντιδραστήρων βαρέως ύδατος είναι ίδιες με αυτές του πεπιεσμένου ελαφρού ύδατος. Το βαρύ νερό εξάγεται από το φυσικό νερό, στο οποίο περιέχεται σε μικρή αναλογία.



Εικόνα 2.5 Αντιδραστήρας CANDU

Οι αντιδραστήρες βαρέως ύδατος, διαθέτουν δύο κυκλώματα ψυκτικού υγρού. Το πρωτεύον, που χρησιμοποιεί το βαρύ νερό, λειτουργεί ως επιβραδυντής απάγει τη θερμότητα που παράγεται στον πυρήνα του αντιδραστήρα, από τις ράβδους του πυρηνικού καυσίμου και τη μεταφέρει σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Εκεί, το δευτερεύον κύκλωμα, ψύχει το πρωτεύον ψυκτικό χρησιμοποιώντας τη θερμότητα αυτή για ατμοπαραγωγή. Ο ατμός στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των στροβίλων του εργοστασίου όπως και στους PWR αντιδραστήρες.

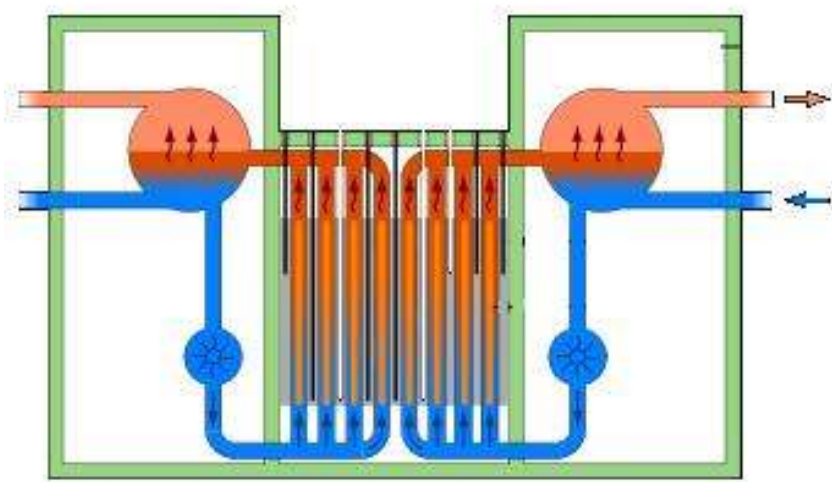
Φαίνεται λοιπόν ότι επί της αρχής, τα δύο είδη αντιδραστήρων διαφέρουν μόνο στον επιβραδυντή-ψυκτικό που χρησιμοποιεί το πρωτεύον κύκλωμά τους. Ο λόγος που επιλέγουμε το βαρύ νερό, στους υπό εξέταση αντιδραστήρες είναι γιατί μας παρέχει τη δυνατότητα να επιτύχουμε κρίσιμο σύστημα με χρήση φυσικού ουρανίου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ελαφρύ νερό έχει σχετικά μεγάλη ικανότητα απορρόφησης θερμικών νετρονίων και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε εμπλουτισμένο ουράνιο στους αντιδραστήρες ελαφρού νερού. Αντιθέτως, το βαρύ νερό, διατηρεί την ικανότητα επιβράδυνσης νετρονίων του ελαφρού νερού με καλύτερη απόδοση. Η χρήση φυσικού ουρανίου όταν δεν είναι διαθέσιμο εμπλουτισμένο ουράνιο.

Στους αντιδραστήρες CANDU χρησιμοποιείται δοχείο με βαρύ νερό που διατρέχεται οριζόντια από σωλήνες πίεσης. Ομόκεντρα στους αυλούς τοποθετούνται τα στοιχεία

του πυρηνικού καυσίμου. Το κυλινδρικό δοχείο πληρούται με βαρύ νερό, που είναι ο κύριος όγκος του επιβραδυντή νετρονίων και περιβάλλει τους αυλούς. Μέσα από τους σωλήνες κυκλοφορεί βαρύ νερό υπό πίεση για την απαγωγή της θερμότητας από τον αντιδραστήρα. Το νερό μέσα στο κυλινδρικό δοχείο διατηρείται σε χαμηλή, σχετικά, θερμοκρασία και έτσι δεν απαιτείται η διατήρησή του σε υψηλή πίεση. Σε υψηλή πίεση είναι το νερό που ψύχει το καύσιμο ωστόσο σωλήνες υψηλής πίεσεως δεν είναι ακριβοί και δύσκολοι στην κατασκευή σε σχέση με το δοχείο πίεσης. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτής της κατασκευής είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα αντικατάστασης ράβδων καυσίμου ενώ βρίσκεται εν λειτουργία [10][11].

Αντιδραστήρες γραφίτη-ελεφρού ύδατος RBMK

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο γραφίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιβράδυνση νετρονίων. Πολλοί τύποι αντιδραστήρων, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι αερίψυκτοι, χρησιμοποιούν τέτοιον επιβραδυντή ωστόσο μόνο ένας από αυτούς χρησιμοποιεί ως ψυκτικό μέσο το νερό. Τέτοιου είδους αντιδραστήρες αναπτύχθηκαν στην τέως Σοβιετική Ένωση και ονομάζονται RBMK από τα αρχικά των λέξεων Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyi, ενώ αντίστοιχος σχεδιασμός δεν χρησιμοποιήθηκε σε άλλες χώρες.



Εικόνα 2.6 RBMK Αντιδραστήρας

Ο πυρήνας του αντιδραστήρα αποτελείται από μια δεξαμενή ενισχυμένου σκυροδέματος που περιέχει το δοχείο του αντιδραστήρα. Εκεί είναι τοποθετημένος ο γραφίτης που λειτουργεί ως επιβραδυντής νετρονίων. Το ψυκτικό μέσο, ελαφρύ νερό, κυκλοφορεί μέσα από σωλήνες πίεσης που διαπερνούν το γραφίτη. Οι αντιδραστήρες RBMK είναι ζέοντος ύδατος, δηλαδή κατά την ψύξη του πυρήνα του αντιδραστήρα επιτρέπεται στο νερό μερική ατμοποίηση. Το διαφασικό ρευστό μεταφέρεται στις στρόβιλοι του εργοστασίου όπου εκτονώνεται και αποδίδει ισχύ, για την

ηλεκτροπαραγωγή, στη συνέχεια συμπυκνώνεται και επιστρέφει στον πυρήνα για να συνεχίσει η ψύξη σε μια διαδικασία που ομοιάζει με εκείνη του BWR αντιδραστήρα.

Τα στοιχεία του πυρηνικού καυσίμου είναι δέσμες ράβδων εμπλουτισμένου ουρανίου με περιβλήμα από κράμα ζirkονίου. Οι RBMK αντιδραστήρες αποδίδουν συνήθως ηλεκτρική ισχύ 1000MW ενώ έχουν κατασκευαστεί και αντιδραστήρες που αποδίδουν 1500MW ηλεκτρική ισχύ [10][15].

Ασφάλεια Πυρηνικών Σταθμών

Λόγω της επικινδυνότητας αλλά και της μακροβιότητας των προϊόντων των πυρηνικών σχάσεων, οι κατασκευαστές πυρηνικών εργοστασίων έχουν δώσει μεγάλη προσοχή στην ασφαλή λειτουργία τους. Η φύση των κινδύνων, που προκαλεί η λειτουργία ενός τέτοιου εργοστασίου, αλλά και η ανάγκη να μηδενιστεί η πιθανότητα έκθεσης σε αυτή ανάγκουν το θέμα της ασφάλειας των πυρηνικών εγκαταστάσεων σε εξαιρετικά πολύπλοκο θέμα, που είναι εκτός των ορίων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Ωστόσο υπογραμμίζεται ότι ο κύριος στόχος των συστημάτων ασφαλείας πυρηνικών αντιδραστήρων είναι η εξασφάλιση πολλαπλών διαδοχικών φραγμάτων εγκλωβισμού των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διαρροής αυτών στο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και οι διαδικασίες λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων διέπονται από την ονομαζόμενη άμυνα σε βάθος. Σύμφωνα με αυτή τη βασική αρχή:

1. Πρέπει να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να εκκινήσει οποιοδήποτε πιθανό ατύχημα. Επιβάλλεται η πιθανότητα αυτή να είναι μικρότερη από προδιαγραμμένη τιμή.
2. Επιπλέον αυτού, επιβάλλεται το σύστημα να έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί έτσι ώστε, αν το ατύχημα εκκινήσει, να αποτραπεί η ανάπτυξη του ατυχήματος και να επαναφερθεί ο αντιδραστήρας σε ασφαλή κατάσταση. Η πιθανότητα να συμβεί μεγάλο ατύχημα πρέπει να είναι μικρότερη από τους κανονισμούς της χώρας στην οποία εγκαθίσταται ο αντιδραστήρας.
3. Επιπλέον της ελαχιστοποίησης της πιθανότητας να συμβεί μεγάλο ατύχημα, αν το ατύχημα συμβεί, επιβάλλεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή να είναι τέτοιες, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία του πληθυσμού.

Επιγραμματικά αναφέρονται τα σημαντικότερα στοιχεία που συγκροτούν το δίκτυο ασφαλείας σε μια πυρηνική εγκατάσταση.

- Το κτήριο στο οποίο στεγάζεται ο πυρηνικός αντιδραστήρας. Αφού στον πυρήνα του αντιδραστήρα λαμβάνουν χώρα εξώθερμες πυρηνικές σχάσεις, είναι σημαντικό οι εγκαταστάσεις που τον στεγάζουν να είναι κατασκευασμένες από κατάλληλα υλικά τα οποία να μπορούν να αποτρέπουν οποιαδήποτε ρύπανση του περιβάλλοντος κατά την κανονική λειτουργία του αντιδραστήρα αλλά και να ελαχιστοποιούν τις συνέπειες σε περίπτωση κάποιου ατυχήματος.

- Ο πυρήνας είναι το μέρος όπου πραγματοποιούνται οι σχάσεις. Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε να εξασφαλίζονται οι λειτουργίες ιδίως η ψύξη και η λειτουργία των ράβδων ελέγχου.
- Παρακολούθηση για τυχόν ενδείξεις ραδιενέργειας σε περιοχές εντός και εκτός εργοστασίου. Τέτοιες ενδείξεις υποδηλώνουν δυσλειτουργίες ή αστοχίες συστημάτων και πρέπει πάντοτε να ελέγχονται.
- Κατάρτιση λεπτομερών σχεδίων για απαιτούμενες ενέργειες σε διάφορα σενάρια ατυχημάτων. Η σωστή και ταχεία αντίδραση σε περίπτωση ατυχήματος είναι αυτή που κρίνει και την έκταση της καταστροφής και θα πρέπει πάντοτε να εξασφαλίζεται ότι σε κάθε περίπτωση θα γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες άμεσα.

Στα σύγχρονα πυρηνικά εργοστάσια το κόστος ασφάλειας είναι περίπου 25% του συνολικού κόστους κεφαλαίου. Ο σχεδιασμός νέων αντιδραστήρων περιέχει βελτιώσεις ασφαλείας βασισμένες στην προηγούμενη εμπειρία λειτουργίας. Κύρια χαρακτηριστικά είναι παθητικά συστήματα ασφαλείας και περισσότερη ασφάλεια κατά μια ή δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τους προηγούμενους αντιδραστήρες.

Εκτίμηση του βαθμού ασφαλείας των πυρηνικών αντιδραστήρων μπορεί να προκύψει από επισκόπηση που ακολουθεί: του ιστορικού των αντιδραστήρων, των ατυχημάτων και των επιπτώσεών τους, την σύγκριση με τις πρακτικές άλλων δραστηριοτήτων (π.χ. της χημικής βιομηχανίας) και τέλος από την πρακτική και τα προβλήματα διαχείρισης των παραπροϊόντων της λειτουργίας τους.

2.2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Πηγή Ενέργειας

Η ενέργεια από τον ήλιο είναι τεράστια. Η επιφάνεια της γης δέχεται κατά μέσο όρο $1.2 \cdot 10^{17}$ Watt ηλιακής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι σε λιγότερο από μια ώρα παρέχεται ενέργεια ικανή να ικανοποιήσει το σύνολο της ενεργειακής ζήτησης σε όλο τον κόσμο κατά τη διάρκεια ενός έτους. Εξάλλου οι περισσότερες από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βασίζονται στον ήλιο (υδροηλεκτρική, αιολική, κυματική).



Εικόνα 2.6 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Nellis Photovoltaic Array

Με πολύ καλή προσέγγιση, ο ήλιος συμπεριφέρεται ως τέλειος εκπομπός ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μια θερμοκρασία που πλησιάζει τους 5800 K. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, μέρος της αρχικής ενέργειας αφαιρείται μέσω διασκορπισμού ή απορρόφησης από μόρια αέρα, σύννεφα και σωματίδια (aerosols).

Η ποσότητα ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος είναι εξαιρετικά μεταβαλλόμενη. Εκτός από την συνήθη ημερήσια και ετήσια μεταβολή λόγω της περιστροφής της γης, άλλες μεταβολές προκαλούνται από τις κλιματικές συνθήκες (σύννεφα) καθώς και από τη γενική σύνθεση της ατμόσφαιρας [17] [7].

Βασική Αρχή

Τα ηλιακά κύτταρα αποτελούν την βασική μονάδα μετατροπής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Κατασκευάζονται από ημιαγωγούς και έχουν πολλά

κοινά με άλλα ηλεκτρονικά όπως οι δίοδοι, τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα, Για πρακτικούς λόγους τα ηλιακά κύτταρα ενώνονται σε σει για τη δημιουργία μιας συστοιχίας [17].

Η λειτουργία τους βασίζεται στην ικανότητα των ημιαγωγών να μετατρέπουν το φως (φωτόνια) απευθείας σε ηλεκτρισμό, σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στη διαδικασία μετατροπής η ενέργεια του φωτός προκαλεί την κίνηση φορτισμένων σωματιδίων μέσα στον ημιαγωγό, τα οποία στη συνέχεια διαχωρίζονται λόγω της δομής της συσκευής και παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Για την πλήρη εξέταση του φαινομένου απαιτείται η περιγραφή της ατομικής δομής των ημιαγωγών και η χρήση της θεωρίας της κβαντικής φυσικής για τα ενεργειακά χάσματα (energy gap), κάτι που ξεφεύγει από το αντικείμενο της παρούσας εργασίας [7].

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα :

1. Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (πλαίσια) με την κατάλληλη στήριξη και πιθανώς, μηχανισμό για την παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου.
2. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.
3. Τον εξοπλισμό ελέγχου, παρακολούθησης και μετατροπής ισχύος
4. Μια εφεδρική γεννήτρια (π.χ. νηξελομηχανή).

Φυσικά δεν είναι πάντα απαραίτητα όλα αυτά τα υποσυστήματα και η τελική διαμόρφωση εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες εφαρμογών: συνδεδεμένες με το δίκτυο και αυτόνομες. Η πιο απλή μορφή αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια που παρέχει συνεχές ρεύμα (DC) σε ένα φορτίο, όποτε υπάρχει η κατάλληλη ακτινοβολία. Πρόκειται συνήθως για αντλητικές εφαρμογές. Σε άλλες περιπτώσεις και ανάλογα με τις ανάγκες είναι απαραίτητα και τα άλλα στοιχεία.

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια: Πρόκειται για την καρδιά του συστήματος. Το πρώτο δομικό στοιχείο είναι το ηλιακό κύτταρο. Πολλά ηλιακά κύτταρα μαζί, συνδεδεμένα εν σειρά, αποτελούν ένα υποπλαίσιο (module), και τουλάχιστον 3 υποπλαίσια ένα πλαίσιο (panel). Η σύνδεση εν σειρά γίνεται για να υπάρχει η κατάλληλη διαφορά δυναμικού, ανάλογη με αυτή της μπαταρίας (συνήθως 12V). Έτσι, 33 με 36 ηλιακά κύτταρα εν σειρά εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία ενός υποπλαισίου.

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά ηλιακά κύτταρα διαθέσιμα στην αγορά και αλλά σε ερευνητικό στάδιο. Ο στόχος είναι η μέγιστη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας με το χαμηλότερο κόστος.

Τα κρυσταλλικά πυριτικά κύτταρα κατέχουν το συντριπτικό μερίδιο της αγοράς των φωτοβολταϊκών, με τα πολυκρυσταλλικά να είναι φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά, αλλά με χειρότερη απόδοση.

Φθηνότεροι αλλά ταυτόχρονα λιγότερο αποδοτικοί τύποι ηλιακών κυττάρων κατασκευάζονται από λεπτά άμορφα φιλμ για διάφορες εμπορικές εφαρμογές όπως υπολογιστές τσέπης, ρολόγια κτλ. Τα υλικά που ερευνώνται είναι άμορφο πυρίτιο (a-Si), copper indium diselenide (CuInSe₂ ή CIS) και cadmium telluride (CdTe) στη θέση κρυσταλλικού υλικού. [17]

Πίνακας 2.4: Βαθμοί Απόδοσης διαφόρων Τεχνολογιών ηλιακών κυττάρων [18]

Τύποι	Βαθμός Απόδοσης	Μέγιστος β.α. Μετρημένος	Μέγιστος β.α. σε ερευνητικό επίπεδο
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	12-15%	22.7%	24.0%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	11-14%	15.3%	18.6%
Άμορφο Πυρίτιο	6-7%	10.2%	12.7%
Cadmium telluride	7-8%	9.2%	16%

Μια ειδική κατηγορία αφορούν τα ηλιακά κύτταρα από ημιαγωγούς GaAs (gallium arsenide) ή indium phosphide, που χρησιμοποιούνται σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της καλύτερης απόδοσής τους και του μεγαλύτερου κόστους τους.

Οι βασικές απώλειες μειώνουν την μέγιστη θεωρητικά απόδοση ενός πυριτικού κυττάρου σε 48% περίπου. Επιπλέον απώλειες διαφοράς δυναμικού (~36%), απώλειες ρεύματος (~10%) και απώλειες που σχετίζονται με το συντελεστή πληρότητας (~20%) εξηγούν την απόδοση 23% περίπου του καλύτερου πυριτικού κυττάρου. Το τυπικό εμπορικό πυριτικό κύτταρο έχει απόδοση 14%, ενώ νέες συσκευές πλησιάζουν το 18%. Ο μηχανισμός κίνησης των πλαισίων ώστε να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας διακρίνεται σε διπλού άξονα και μονού άξονα. Έχει υπολογιστεί ότι με τη χρήση μηχανισμού που έχει δυνατότητα μετατόπισης των Φ/Β πλαισίων σε δύο άξονες μπορεί να συλλεχθεί ακόμη και 40% περισσότερη ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του έτους σε σχέση με ένα ακίνητο σύστημα [17][18].

Αποθήκευση Ενέργειας: Για την αποθήκευση ενέργειας σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές (μπαταρίες). Ο πλέον διαδεδομένος τύπος μπαταρίας είναι μολύβδου-οξέος, αν και σε εξαιρετικά ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μπαταρίες νικελίου-καδμίου. Το κύριο επιθυμητό χαρακτηριστικό των μπαταριών αυτών είναι η ικανότητά τους για βαθιές εκφορτιστείς, χωρίς να μειώνεται ο χρόνος ζωής τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την ειδική γεωμετρία του θετικού και αρνητικού πλέγματος, την χημική σύνθεση και ενεργό μάζα των υλικών που απαρτίζουν τις πλάκες και τις ανοχές από πλευράς στάθμης ηλεκτρολύτη για μπαταρίες ανοικτού τύπου. Οι τεχνολογικές εξελίξεις και

σχεδιασμοί δείχνουν ότι η καταλληλότερη μπαταρία για φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η κλειστού τύπου (VRLA), με σύνθεση θετικής πλάκας από καθαρό μόλυβδο. Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, ο έλεγχος φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών έχει μεγάλη σημασία για τη διάρκεια ζωής τους και κατά συνέπεια την απόδοση όλης της εγκατάστασης. Για το σκοπό αυτό εξετάζεται η χρήση προγραμματιζόμενων μικρο-ελεγκτών για τον έλεγχο μιας σειράς από παραμέτρους όπως η τάση των πόλων, το ρεύμα λειτουργίας, το βάθος εκφόρτισης, η θερμοκρασία λειτουργίας, ο χρόνος επαναφόρτισης, η διαθέσιμη ενέργεια κτλ [19].

Άλλοι τρόποι αποθήκευσης είναι επίσης πιθανοί, αν και λιγότερο συνήθεις: άντληση νερού, συμπιεσμένος αέρας, παραγωγή υδρογόνου.

Αντιστροφείς Ισχύος (inverters) : Είναι απαραίτητοι, αφού το ρεύμα που παράγεται είναι συνεχές (DC), ενώ ως γνωστόν οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές απαιτούν εναλλασσόμενο (AC). Οι αντιστροφείς ισχύος για φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ειδικά σχεδιασμένες συσκευές ηλεκτρονικών ισχύος και κύριο σκοπό έχουν την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι η ονομαστική ισχύς, το εύρος τάσης εισόδου εξόδου, το εύρος συχνότητας λειτουργίας, η καμπύλη απόδοσης σε όλο το φάσμα φορτίου, η κυματομορφή εισόδου στο δίκτυο και η τιμή THD (Total Harmonic Distortion). Οι inverters για Φ/Β συστήματα είναι των τύπων «τροφοδοσίας τάσης» (self-commutating) ή «τροφοδοσίας ρεύματος» (line-commutated). Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές εγκαταστάσεις (1-5 kWp) και είναι συνήθως μονοφασικοί. Οι άλλοι έχουν χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τους πρώτους, αφού κατασκευάζονται από απλά ηλεκτρονικά, είναι αξιόπιστοι συνήθως τριφασικοί και μεγάλης ισχύος [19].

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της εξάρτησης της ηλεκτροπαραγωγής των φωτοβολταϊκών από τις συνθήκες περιβάλλοντος (ηλιακή ακτινοβολία, διάχυση κτλ), χρησιμοποιείται ο όρος peak power output (Wp = watt peak performance) για την ποσοτικοποίηση της ισχύος τους, που αναφέρεται σε συγκεκριμένες τυποποιημένες συνθήκες. Συνεπώς η ονομαστική ισχύς τους π.χ. kWp - MWp υποδηλώνει ισχύ αιχμής (peak power) σε στάνταρ συνθήκες.

Για την κατάλληλη τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι απαραίτητη η σωστή επιλογή γωνίας των πλαισίων. Πρέπει να είναι γνωστή η ποσότητα της ακτινοβολίας σε μια τοποθεσία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για την περίπτωση συνδεδεμένων φωτοβολταϊκών, όπου το ζητούμενο είναι η μέγιστη συγκέντρωση ισχύος όλο το χρόνο, η γωνία πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των 30° και 40°, γενικά όμως κοντά στο γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (π.χ. Αθήνα ~37°). Για την περίπτωση εφαρμογών για την αντιμετώπιση αιχμών, συνήθως δηλαδή το καλοκαίρι, η καλύτερη επιλογή είναι οι 20° [17][7].

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα χρήσης

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα πέραν του ότι είναι μια καθαρή τεχνολογία, που δε ρυπαίνει το περιβάλλον έχοντας ως πηγή ενέργειας την ανεξάντλητη ηλιακή ακτινοβολία, είναι αξιόπιστα, δεν έχουν σε γενικές γραμμές κινούμενα μέρη, η λειτουργία τους είναι σιωπηλή και τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης είναι πολύ μικρά. Η εγκατάστασή τους είναι εύκολη και γρήγορη και μπορούν να παράγουν ενέργεια χωρίς να είναι απαραίτητες γραμμές μεταφοράς. Ο σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών επιτρέπει την ενσωμάτωσή τους σε κτίρια ελαχιστοποιώντας την οπτική όχληση [17][18].

Ειδικά για τις αυτόνομες εφαρμογές τα σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η ανυπαρξία κόστους καυσίμου και προβλημάτων μεταφοράς τους, η δυνατότητα λειτουργίας χωρίς επίβλεψη, η αξιοπιστία και η μικρή συντήρηση που απαιτείται.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας βρίσκεται στο μεγάλο της κόστος. Καθώς όμως οι όγκοι παραγωγής συνεχίζουν να μεγαλώνουν, το κόστος της θα μειώνεται. Ένα άλλο μεγάλο μειονέκτημα είναι η μεταβαλλόμενη φύση της πηγής ενέργειας (νύχτα, συννεφιά), κάτι που αντιμετωπίζεται μέχρι κάποιο βαθμό με τα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας. Τέλος, σε μερικές από τις μεθόδους κατασκευής Φ/Β χρησιμοποιούνται επικίνδυνα υλικά όπως hydrogen selenide και διαλυτικά [7].

2.2.5 Αιολική Ενέργεια

Πηγή Ενέργειας

Ο άνεμος, δηλαδή ο κινούμενος ατμοσφαιρικός αέρας, παράγεται κυρίως από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον ήλιο και κατά δεύτερο λόγο από την περιστροφή της γης, την ύπαρξη θάλασσας και το ανάγλυφο κάθε περιοχής.



Εικόνα 2.7 Αιολικό Πάρκο

Οι άνεμοι διακρίνονται σε:

- Πλανητικούς, οι οποίοι δημιουργούνται λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης της επιφάνειας της γης κοντά στον Ισημερινό, από ότι στους Πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι να πνέουν από τους Πόλους προς τον Ισημερινό προς αντικατάσταση του θερμού αέρα που ανυψώνεται στις τροπικές περιοχές, λόγω μείωσης της πυκνότητάς του, και κινείται στην ανώτερη ατμόσφαιρα προς τους Πόλους.
- Τοπικούς, κυριότερος των οποίων είναι τα θαλάσσια ρεύματα. Ως γνωστόν, οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, αφού εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς τα κάτω μέσα στις υδάτινες μάζες. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από λίμνες, θάλασσες και ωκεανούς παραμένει σχετικά κρύος σε σχέση πάντα με τον αέρα που βρίσκεται πάνω από την ξηρά και θερμαίνεται περισσότερο. Αυτός ο θερμός αέρας, λόγω ελάττωσης της πυκνότητάς του, ανυψώνεται και ο βαρύτερος κρύος αέρας που βρίσκεται πάνω από το νερό

κινείται για να πάρει τη θέση του. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα τοπικά αέρια ρεύματα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας τα ρεύματα αυτά αντιστρέφονται επειδή η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται πιο γρήγορα από αυτή του νερού και έτσι ο ψυχρότερος, άρα και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς τη θάλασσα, όπου αναπληρώνει τον αέρα που ανυψώνεται από την επιφάνεια της.

- Εποχιακούς όπως οι Μουσσώνες και τα μελέμια τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της παρουσίας τους στον ελλαδικό χώρο, κυρίως στην περιοχή του Αιγαίου. Τα μελέμια δημιουργούνται από το συνδυασμό των υψηλών πιέσεων στα Βαλκάνια (συνέπεια του μόνιμου αντικυκλώνα στις Αζόρες του Ατλαντικού) με τις χαμηλές πιέσεις της Ανατολικής Μεσογείου. Αρχίζουν να πνέουν από τις αρχές Μαΐου και εξασθενούν μέσα Οκτωβρίου, με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου [20].

Ο άνεμος αποτελεί μια πολύπλοκη πηγή ενέργειας. Είναι κυμαινόμενη και εξαρτάται πολύ από την γεωγραφία και την τοπογραφία. Το ύψος και γενικά το ανάγλυφο (λόφοι, βουνά) επηρεάζουν ιδιαίτερα την ένταση του ανέμου.

Περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας, μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σ' όλη τη γη υπολογίζεται σε 3600 TW. Το δυναμικό αυτό βέβαια δεν μπορεί να αξιοποιηθεί πέραν κάποιου σχετικά μικρού ποσοστού, λόγω τεχνικών περιορισμών (τοπογραφικών, απόδοσης μηχανών κ.α.). Η αιολική ενέργεια ανήκει στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) δεδομένου ότι δε ρυπαίνει το περιβάλλον και παράλληλα είναι ανεξάντλητη. Από την άλλη είναι μια αραιή ή ήπια μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφανείας που προσβάλλεται από τον άνεμο [20].

Σύμφωνα με εκτιμήσεις το δυναμικό της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι περίπου 3100 TWh κατ' έτος, από τις οποίες οι 2500 TWh αφορούν αιολικό δυναμικό στη Θάλασσα. [21]

Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, όπως προκύπτει με βάση τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες και τους βασικούς περιορισμούς χωροθέτησης αιολικών πάρκων εκτιμάται σε 1000 MW για ταχύτητες ανέμου πάνω από 6 m/sec [22][7].

Βασική αρχή

Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Η αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών βασίζεται στο φαινόμενο της άνωσης (lift), σύμφωνα με το οποίο η ταχύτητα ροής του ρευστού (αέρας) είναι διαφορετική στις δύο πλευρές των πτερυγίων (λόγω της αεροδυναμικής σχεδίασης τους) με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποπίεσης στη μια πλευρά και υπερπίεσης στην άλλη και

συνεπώς την εμφάνιση δύναμης (άνωση) που κινεί τα πτερύγια, τα οποία με τη σειρά τους όντας δεμένα σε άτρακτο, την περιστρέφουν και με τη βοήθεια γεννήτριας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια [23].

Η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ρεύμα αέρα διατομής A ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας V και πυκνότητας ρ υπολογίζεται από τη σχέση [20]:

$$P = \frac{\rho}{2} V^3 A$$

και είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου.

Η ισχύς όμως που παρέχει η έλικα είναι μικρότερη από την ισχύ του ανέμου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_A = C_P \frac{\rho}{2} V^3 A$$

Το μέγεθος C_P λέγεται συντελεστής ισχύος. Το C_P δεν είναι αυστηρά ο βαθμός απόδοσης του δρομέα, αφού αναφέρεται σε μια ισχύ που δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ολόκληρη, ακόμη και με την ιδανική έλικα. Όπως έδειξε ο Betz [20] η μέγιστη τιμή του είναι

$$C_P = 16/27 \text{ ή } 0,593$$

Που σημαίνει ότι ακόμη και με την ιδανική έλικα, η μέγιστη εκμετάλλευση της ισχύος του ανέμου μπορεί να φθάσει μέχρι το πολύ 59.3%. Το όριο αυτό καλείται όριο του Betz. Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος του δρομέα θα είναι ακόμη μικρότερος λόγω φαινομένων συνεκτικότητας, πεπερασμένου αριθμού πτερυγίων και της υπάρχουσας συστροφής του ρεύματος του αέρα πίσω από το δρομέα η οποία τελικά αποτελεί απώλεια ενέργειας λόγω μη μετατροπής της σε πίεση [20].

Τα παλαιότερα συστήματα μετατροπής της αιολικής ενέργειας βασίζονταν την αντίσταση (drag). Αυτές οι μηχανές είχαν πολύ χαμηλό συντελεστή ισχύος με μέγιστο C_P περίπου 0.16 [21][7].

Γενική περιγραφή

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Οριζοντίου άξονα στις οποίες ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης.
- Κατακόρυφου άξονα στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης.

Στην αγορά της αιολικής ενέργειας έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα και έτσι η περιγραφή θα περιοριστεί σε αυτές.

Τα βασικά μέρη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα είναι ο δρομέας, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, ο μηχανισμός προσανατολισμού, η ηλεκτρική γεννήτρια και ο πύργος στήριξης [23].

Δρομέας: ανεμογεννήτριες με 2 ή 3 πτερύγια χρησιμοποιούνται συνήθως για ηλεκτροπαραγωγή ενώ ατμοκινητήρες με 20 ή παραπάνω πτερύγια για άλλες μηχανικές εφαρμογές, π.χ. άντληση νερού. Οι ανεμογεννήτριες με 2 πτερύγια έχουν το πλεονέκτημα του μικρότερου ανητημένου βάρους στον πύργο και έτσι, πιθανόν να οδηγούν σε μείωση κόστους του συστήματος στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες με 3 πτερύγια έχουν τα πλεονεκτήματα της ευκολότερης σχεδίασης, του μικρότερου παραγόμενου θορύβου καθώς επίσης και της περισσότερο αισθητικά αποδεκτής σχεδίασης σε σχέση με την διπτέρυγη [21].

Τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων δεν έχουν ξεκαθαρίσει εντελώς. Στους μικρούς ατμοκινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο. Στους μεσαίου μεγέθους δρομείς χρησιμοποιούνται υαλονήματα με εναλλαγή της κατεύθυνσής τους σε πολλαπλές στρώσεις, ενώ στους μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται η τεχνολογία των ελίκων των αεροσκαφών (ανθρακονήματα) ή ακόμα και ξύλο, ή και τεχνολογία πτερυγίων αεροσκαφών.

Υπάρχουν δρομείς με πτερύγια: α)μεταβλητού βήματος και β)σταθερού βήματος. Η μηχανική ρύθμιση ισχύος σε μια ανεμογεννήτρια έχει ως σκοπό να εξισορροπεί για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, την παραγόμενη από την πτερύγωση ισχύ με την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης (π.χ. γεννήτριας), ώστε η εγκατάσταση να μην υπερφορτίζεται [20].

Σύστημα μετάδοσης ισχύος: Το σύστημα μετάδοσης αποτελείται από την άτρακτο με τα ρουλεμάν, το σύστημα πέδησης και κατ' επιλογή ένα κιβώτιο ταχυτήτων (μειωτήρας) για την αύξηση των στροφών [21]. Το κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας λειτουργεί συνεχώς με κρουστικά φορτία, λόγω της συνεχούς μεταβολής ισχύος του ανέμου και έτσι η ονομαστική ροπή του επιλέγεται ακόμα και 200% μεγαλύτερη της ονομαστικής ισχύος της μηχανής [20]. Αρκετοί κατασκευαστές ανεμογεννητριών, προσανατολίζονται πλέον στην απευθείας σύνδεση της ατράκτου με την γεννήτρια.

Σε ό,τι αφορά τους τρόπους ακινητοποίησης του δρομέα της ανεμογεννήτριας, υπάρχουν οι εξής τρόποι: α)με μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή και ενεργοποίησης της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο, β)με στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει παράλληλα προς τον άνεμο, γ)με αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου, ενεργοποιώντας αεροπέδη (τύπου spoiler) και δ)με πέδηση της ατράκτου.

Η πέδηση του άξονα του δρομέα πραγματοποιείται με δισκόφρενο τύπου ασφάλειας αστοχίας, που ενεργεί αυτόματα στον άξονα. Το δισκόφρενο αυτό, συνήθως τοποθετείται μετά το κιβώτιο ταχυτήτων, στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής, διότι έτσι η ροπή πέδησης είναι μικρή (λόγω υψηλής γωνιακής ταχύτητας) και κατά συνέπεια το δισκόφρενο μικρού κόστους [20].

Ηλεκτρική γεννήτρια: μπορεί να είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη. Η απλότητα στην κατασκευή, το κόστος και η ευκολία με την οποία συνδέεται στο δίκτυο η ασύγχρονη γεννήτρια, είναι τα πλεονεκτήματά της [20].

Σύστημα προσανατολισμού: Ο δρομέας μπορεί να βρίσκεται πριν από τον πύργο (ανάντη) ή μετά τον πύργο (κατάντη). Στις ανεμογεννήτριες με ανάντη τοποθέτηση του δρομέα, απαιτείται σύστημα προσανατολισμού του τελευταίου. Στις μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται καθοδηγητικό περύγιο (ουρά). Στις μεγάλου μεγέθους ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται σερβοκινητήρας, ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και προσανατολίζει το δρομέα κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. Στις ανεμογεννήτριες με τοποθέτηση του δρομέα κατάντη, δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού, αλλά η ανεμογεννήτρια είναι περισσότερο θορυβώδης, ενώ αυξημένες είναι και οι καταπονήσεις στα περύγια.

Πύργος: Ο επικρατέστερος τύπος είναι πλέον ο σωληνωτός. Είναι αισθητικά καλύτερος (σε σχέση με τον τύπο δικτυώματος), το εσωτερικό του πύργου μπορεί να αποτελεί και το θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων της ανεμογεννήτριας και να έχει εσωτερική σκάλα ή ανελκυστήρα πρόσβασης στο κουβούκλιο στην κορυφή του. Παρουσιάζει όμως δυσκολία στη μεταφορά του, ιδίως από κάποιο ύψος και πάνω, δυσκολία στην ανέγερσή του (απαιτείται οπωσδήποτε γερανός) και αν είναι μεγάλος πρέπει να γαλβανιστεί σε κομμάτια και να συγκολληθεί επί τόπου, αλλά τότε καταστρέφεται το γαλβάνισμα τοπικά [20].

Μια Α/Γ δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για μια σειρά από λόγους, και για το λόγο αυτό ορίζεται ο συντελεστής χωρητικότητας (capacity factor) [7].

Πλεονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δηλαδή είναι ανεξάντλητη, ενώ είναι και φιλική προς το περιβάλλον καθώς δεν υπάρχει καμία εκπομπή ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα κατά τη λειτουργία των ανεμογεννητριών.

Η αιολική ενέργεια είναι ενδογενής πηγή ενέργειας και η εκμετάλλευσή της συμβάλλει στην ενεργειακή ανεξαρτησία της κάθε χώρας, ένα ζήτημα στρατηγικής σημασίας. Επιπλέον, εξοικονομούνται ορυκτά καύσιμα και βελτιώνεται το εμπορικό ισοζύγιο της χώρας.

Η παραγωγή ενέργειας πραγματοποιείται σε τοπικό επίπεδο και έτσι αποφεύγονται οι απώλειες μετάδοσης του δικτύου.

Οι ανεμογεννήτριες απαιτούν πολύ μικρό χώρο στο έδαφος, ώστε μπορούν να συνυπάρχουν με διάφορες καλλιέργειες. Οι μόνες, μόνιμες χρήσεις γης, είναι για τα θεμέλια (τσιμεντένια βάση) και οι δρόμοι πρόσβασης [24]. Ένα τυπικό αιολικό πάρκο από 20 ανεμογεννήτριες μπορεί να εκτείνεται σε χώρο 1 km². Αντίθετα όμως με τους συμβατικούς σταθμούς, καταλαμβάνει λιγότερο από το 1 % - 2% αυτού του χώρου.

Σε αγροτική γη, όλες οι κανονικές κτηνοτροφικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχιστούν ακριβώς στη βάση των ανεμογεννητριών [25][13]. Εκτός αυτού, συνήθως οι εταιρίες που διαχειρίζονται τα αιολικά πάρκα πληρώνουν ενοίκια στους ιδιοκτήτες της γης όπου είναι εγκατεστημένα, κάτι που σίγουρα είναι προς όφελος των ιδιοκτητών.

Τα αιολικά πάρκα είναι επεκτάσιμα. Αυτό σημαίνει ότι καθώς η ζήτηση αυξάνει, νέες ανεμογεννήτριες μπορούν να προστίθενται στο ήδη υπάρχον αιολικό πάρκο. Το ρίσκο της επένδυσης είναι χαμηλό, λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους της κάθε ανεμογεννήτριας.

Η αξιοπιστία αποτελεί επίσης ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των ανεμογεννητριών. Η διαθεσιμότητά τους πλησιάζει πλέον το 98-99% ετησίως. Αυτό σημαίνει λίγα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους (120,000 ώρες λειτουργίας). Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες απαιτούν έλεγχο συντήρησης κάθε 6 μήνες [20][25].

Η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας είναι πολύ σημαντικός εργοδότης. Μια πρόσφατη μελέτη του συνδέσμου των Δανών κατασκευαστών ανεμογεννητριών, συμπεραίνει ότι η Δανέζικη αιολική βιομηχανία μόνο, απασχολεί 8500 Δανούς και δημιούργησε 4000 επιπλέον θέσεις εργασίας εκτός της Δανίας. Η αιολική βιομηχανία της Δανίας απασχολεί πλέον περισσότερους ανθρώπους από ότι η αλιευτική βιομηχανία της. Σύμφωνα με τον γερμανό κατασκευαστή Enron Wind μέσα σε 10 χρόνια (από το 1990) δημιουργήθηκαν 30,000 νέες θέσεις εργασίας στη Γερμανία, νούμερο που επιβεβαιώνεται και από την American Wind Energy Association (AWEA).

Κατά μέσο όρο δημιουργούνται 6 θέσεις εργασίας κατ' έτος για κάθε μεγαβάτ κατασκευαζόμενης ισχύος. Για την λειτουργία και τη συντήρηση οι εν λόγω θέσεις είναι περίπου 100 και 450 αντίστοιχα κατ' έτος για κάθε τεραβατώρα παραγόμενου ηλεκτρισμού. Ο αριθμός ποικίλει ανάλογα με την παλαιότητα και τον τύπο των ανεμογεννητριών. Για κάθε θέση εργασίας στη βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών, δημιουργείται τουλάχιστον άλλη μια σε κάποιον άλλο σχετιζόμενο τομέα. (σχεδιασμός, έρευνα, πωλήσεις, εκπαίδευση, νομικά κτλ.) [13].

Όταν οι ανεμογεννήτριες φτάνουν στο τέλος της ζωής τους, υπάρχουν δύο δυνατότητες α) να αποξηλωθούν πλήρως, μαζί με τις βάσεις τους (αν και συνήθως αυτές ενταφιάζονται), επιστρέφοντας πλήρως και σε άθικτη κατάσταση τον χώρο που κατελάμβαναν για τόσα χρόνια και β) να ξηλωθούν μερικώς, δηλαδή μόνο τα πτερύγια και ο μηχανισμός και να αντικατασταθούν από άλλα νέας τεχνολογίας πετυχαίνοντας ταυτόχρονα την αντικατάσταση απαρχαιωμένων Α/Γ πρώτης γενιάς και την εξοικονόμηση των έργων στήριξης μιας νέας Α/Γ. Πάντως σε κάθε περίπτωση τα υλικά τους μπορούν είτε να πωληθούν για σκραπ, είτε να ανακυκλωθούν [13].

Η αιολική ενέργεια είναι ήδη οικονομικά ανταγωνιστική με τις συμβατικές μορφές ηλεκτροπαραγωγής σε όλη σχεδόν την Ευρώπη, ακόμα και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα περιβαλλοντικά κόστη. Επίσης, ενώ το κόστος της μειώνεται διαρκώς, οι άλλες τεχνολογίες γίνονται ολοένα και πιο ακριβές, κυρίως λόγω του κόστους των καυσίμων, αλλά και λόγω των αυστηρότερων περιβαλλοντικών περιορισμών. Το κόστος μιας Α/Γ βρίσκεται περίπου στα 600-900 ευρώ/kW. Οι μελέτες και τα έξοδα εγκατάστασης προσθέτουν άλλα 200-250 ευρώ/kW. Αυτό φέρνει το σύνολο στα 1000 ευρώ/kW (κατά μέσο όρο) [7].

Σφυγμομετρήσεις σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, Δανία, Γερμανία, Ολλανδία και Ην. Βασίλειο, έδειξαν ότι περισσότερο από το 70% του πληθυσμού είναι υπέρ της χρησιμοποίησης αιολικής ενέργειας. Οι άνθρωποι που ζουν κοντά σε Α/Γ είναι ακόμη πιο ένθερμοι υποστηρικτές αυτής της τεχνολογίας (80%). Τέλος στη Δανία, πάνω από 100,000 οικογένειες είναι μέτοχοι σε κάποια από τις 6000 σύγχρονες Α/Γ που είναι διεσπαρμένες σε όλη τη χώρα, ενώ το 80% της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ανήκει σε ιδιώτες ή ενώσεις τους και μόνο 20% στις αντίστοιχες Επιχειρήσεις Ηλεκτρισμού [7].

Μειονεκτήματα

Υπάρχουν περιορισμοί για τον τόπο εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Οι φυσικοί περιορισμοί περιλαμβάνουν πόλεις, χωριά, λίμνες και δάση. Άλλοι περιορισμοί αφορούν εθνικά πάρκα και περιοχές μεγάλης φυσικής ομορφιάς.

Για καλές ταχύτητες ανέμου, τα αιολικά πάρκα, πρέπει να βρίσκονται σε ανοικτές περιοχές και συνήθως σε ύψος. Έτσι είναι ορατές από μακριά και προκαλούν οπτική όχληση. Η εκτίμηση της οπτικής όχλησης των ανεμογεννητριών είναι υποκειμενικό ζήτημα, καθώς άλλοι βρίσκουν τις ανεμογεννήτριες ελκυστικές και άλλοι όχι. Πάντως γίνονται προσπάθειες για την καλύτερη ενσωμάτωσή τους στο περιβάλλον με την επιλογή των κατάλληλων θέσεων.

Ο θόρυβος από τις ανεμογεννήτριες έχει πλέον μειωθεί πάρα πολύ στις σύγχρονες μηχανές και είναι μικρότερος από άλλες καθημερινές δραστηριότητες. Σε απόσταση 200 m από μια ανεμογεννήτρια, ο παραγόμενος θόρυβος καλύπτεται από τον ήχο του αέρα και το θρόισμα των δέντρων. Υπάρχουν δύο τύποι θορύβου που παράγονται από την ανεμογεννήτρια: αεροδυναμικός από τα πτερύγια και μηχανικός από τα περιστρεφόμενα μέρη [24]. Ο παραγόμενος αεροδυναμικός θόρυβος ελαχιστοποιείται με προσεκτική σχεδίαση και κατασκευή των πτερυγίων. Ο θόρυβος από το κιβώτιο και τη γεννήτρια ελαχιστοποιείται με καλή μηχανική σχεδίαση και περαιτέρω μόνωση του κελύφους [13].

Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές με ραδιοηλεκτρονικά σήματα δεν αποτελούν συνήθως πρόβλημα και πάντως αντιμετωπίζονται εύκολα.

Υπάρχουν κάποιες ανησυχίες σχετικά με την οικολογία του περιβάλλοντος. Λόγω όμως της μικρής δέσμευσης γης, οι επιπτώσεις στην κτηνοτροφία και στην άγρια ζωή

είναι ελάχιστες. Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι οι επιπτώσεις στα πτηνά είναι επίσης μικρές, αφού έρευνες σε διάφορες χώρες έχουν αποδείξει ότι οι θάνατοι πτηνών από ανεμογεννήτριες είναι πολύ λιγότεροι σε σχέση με άλλες αιτίες [7].

Η μοναδική περίπτωση κινδύνου στον άνθρωπο προέρχεται από γεγονότα μικρής πιθανότητας στα οποία κάποια δομική αστοχία της μηχανής θα μπορούσε να οδηγήσει στην αποκόλληση κάποιων κομματιών [24].

Ανακεφαλαιώνοντας, η πιο σημαντική επίπτωση της αιολικής ενέργειας είναι ο τρόπος με τον οποίο αλλάζει το τοπίο. Αυτοί πάντως που υποστηρίζουν την καθαρή ενέργεια, την προστασία του περιβάλλοντος βρίσκουν τις Α/Γ ελκυστικές και αισθητικό σύμβολο ενός καλύτερου μέλλοντος, πιο καθαρού [13].

Υπάρχει η δυνατότητα να αναιρεθούν κάποια από τα μειονεκτήματα των Α/Γ, με την κατασκευή Αιολικών Πάρκων στη θάλασσα [7].

Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα

Η τεχνολογία είναι η ίδια, όπως των ηπειρωτικών, αλλά τα εντονότερα κλιματικά φαινόμενα και η δυσκολότερη πρόσβαση, απαιτούν καλύτερες προδιαγραφές κατά τη σχεδίαση και κατασκευή. Επιπρόσθετα, λόγω του ότι στα θεμέλια της μηχανής αντιστοιχεί μεγαλύτερο ποσοστό στο συνολικό κόστος, απαιτούνται μηχανές μεγάλης ισχύος, για να μειωθεί το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια στην θάλασσα, είναι μεγαλύτερη από ότι στο ηπειρωτικό έδαφος και περιορίζεται μόνο από το βάθος της θάλασσας (μέχρι 30 m) και τη χρήση της για άλλες δραστηριότητες (αλιεία, δρομολόγια πλοίων, περιοχές στρατιωτικών γυμνασίων κτλ.) [24].

Οι παράγοντες που συνηγορούν υπέρ της ανάπτυξης θαλάσσιων αιολικών πάρκων είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας και η έλλειψη κατάλληλων θέσεων στον ηπειρωτικό χώρο. Επιπλέον, αποφεύγεται το μεγαλύτερο πρόβλημα που είναι η οπτική όχληση.

Οι εκτιμήσεις είναι ότι το κόστος ενέργειας μπορεί να είναι 25-40% μεγαλύτερο σε σχέση με τα κοινά αιολικά πάρκα, κάτι που αντισταθμίζεται εν μέρει από μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας ακόμη και κατά 30%. Βέβαια, όπως και στα κοινά (ηπειρωτικά) Α/Π, τα κόστη εκτιμάται ότι θα μειωθούν με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την απόκτηση τεχνογνωσίας [7].

Υπάρχει δε η σκέψη να συνδυαστούν θαλάσσιες Α/Γ, με παλιρροιακές γεννήτριες, στην ίδια βάση. Αυτό όμως περιορίζεται, μόνο εκεί όπου υπάρχει παλίρροια.

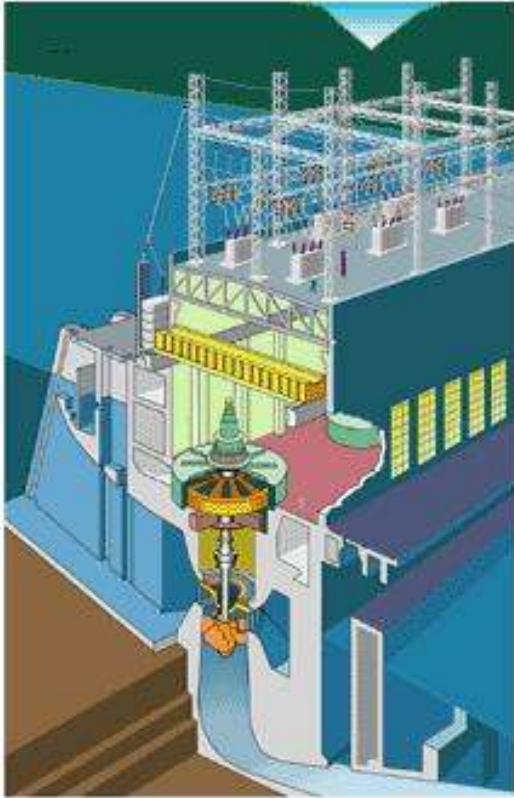
Η ελκυστικότητα των θαλάσσιων αιολικών πάρκων δεν είναι μεγάλη για την Ελλάδα, όπου οι άνεμοι δυναμώνουν με την αύξηση του υψομέτρου και επιταχύνονται λόγω του έντονου ανάγλυφου (βουνά, λόφοι), αλλά και λόγω της ύπαρξης των πολυάριθμων νήσων.

Συνολικά υπάρχουν 8 θαλάσσια αιολικά πάρκα που λειτουργούν σήμερα παγκοσμίως. Δεκατρία θαλάσσια αιολικά πάρκα με συνολική ισχύ πάνω από 1500 MW, έλαβαν μια πρώτη έγκριση από την αρμόδια αρχή του Ην. Βασιλείου. Οι τοποθεσίες περιλαμβάνουν και ανατολικές και δυτικές ακτές, ενώ οι αποστάσεις από τις ακτές κυμαίνονται από 1.5 km έως 10 km [7].

2.2.6 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Πηγή Ενέργειας

Η υδροηλεκτρική ενέργεια βασίζεται στη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού (λόγω υψομέτρου) σε κινητική για την παραγωγή μηχανικού έργου το οποίο τελικά μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννητριών.



Εικόνα 2.8 Σχηματική Αναπαράσταση Υδροηλεκτρικού Εργοστασίου

Το υδροηλεκτρικό δυναμικό κατά περιοχή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Το συνολικό θεωρητικό δυναμικό, στην πρώτη στήλη του πίνακα, αντιπροσωπεύει το ποσό του ηλεκτρισμού που θα μπορούσε να παραχθεί αν η συνολική βροχόπτωση σε μια περιοχή χρησιμοποιείτο για την παραγωγή ηλεκτρισμού στο επίπεδο της θάλασσας (όπου και επιτυγχάνεται και η μέγιστη διαφορά δυναμικού). Η δεύτερη στήλη είναι και η πιο διαφωτιστική αφού παρουσιάζει το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό στις αντίστοιχες περιοχές.

Πίνακας 2.5 Υδροηλεκτρικό δυναμικό κατά περιοχή [I4]		
	Συνολικό Θεωρητικό Δυναμικό (TWh/έτος)	Τεχνικά Εκμεταλλεύσιμο Δυναμικό (TWh/έτος)
Αφρική	>3884	>1852
Βόρεια Αμερική	8054	>3012
Νότια Αμερική	>712	>3036
Ασία	>16285	>5523
Ευρώπη	4945	2714
Μέση Ανατολή	418	168
Ωκεανία	495	>189
Συνολικά	>41202	>16494

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα [2.5] υδροηλεκτρικό δυναμικό υπάρχει παντού στον κόσμο. Ωστόσο δε συμφέρει οικονομικά η χρήση όλου του τεχνικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού. Από τις συνολικά διαθέσιμες 16494 TWh/έτος παγκοσμίως, οικονομικά εκμεταλλεύσιμες θεωρούνται μόλις λίγο πάνω από 8500 TWh/έτος. Αυτό το νούμερο είναι τρεις φορές μεγαλύτερο από τις 2836 TWh/έτος που εκμεταλλευόμαστε παγκοσμίως σήμερα κάτι που φανερώνει τις δυνατότητες ανάπτυξης των υδροηλεκτρικών σταθμών [I4].

Όμως ο πραγματικός βαθμός εκμετάλλευσης διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας (World Energy Council) εκτίμησε το 1990 ότι το 65% του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροηλεκτρικού δυναμικού χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και το 55% στην Βόρεια Αμερική. Αντιθέτως στην Ασία ο βαθμός εκμετάλλευσης ανέρχεται στο 18% και 6% στην Αφρική κάτι που είναι εμφανές και στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.5 Εγκατεστημένο Υδροηλεκτρικό Δυναμικό (MW) [I4]	
Αφρική	21644
Βόρεια Αμερική	154127
Νότια Αμερική	123712
Ασία	222697
Ευρώπη	225202
Μέση Ανατολή	7185
Ωκεανία	13471
Συνολικά	778038

Σήμερα το συνολικό εγκατεστημένο υδροηλεκτρικό δυναμικό είναι μόλις κάτω από τα 800 GW, με άλλα 100 GW υπό κατασκευή. Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται το εγκατεστημένο υδροηλεκτρικό δυναμικό ανά περιοχή. Σε απόλυτους αριθμούς, η Ευρώπη έχει το μεγαλύτερο εγκατεστημένο δυναμικό, ακολουθούμενη από την Ασία και τη Βόρεια Αμερική. Η Μέση Ανατολή, πιθανώς η πιο άνυδρη περιοχή στον

κόσμο, έχει το μικρότερο δυναμικό. Αν συγκρίνουμε τους παραπάνω πίνακες διαπιστώνουμε, όπως αναφέρεται και στη μελέτη του World Energy Council, ότι η Αφρική έχει αναπτύξει ελάχιστο σε σχέση με τις δυνατότητές της [14][26].

Γενικά γίνεται εμφανές ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Όμως αναπτυσσόμενες περιοχές έχουν ακόμα μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης της συγκεκριμένης μεθόδου ηλεκτροπαραγωγής.

Αρχές Λειτουργίας

Τοποθεσία

Το πρώτο στάδιο της κατασκευής μιας υδροηλεκτρικής μονάδας είναι η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας. Η κατασκευή ενός τέτοιου έργου είναι αδύνατη δίχως την ύπαρξη κατάλληλης τοποθεσίας. Η σημασία αυτού του σταδίου είναι τεράστια αφού δεν καθορίζει μόνο αν είναι διαθέσιμη κατάλληλη τοποθεσία αλλά επηρεάζει τον όλο σχεδιασμό του έργου ανάλογα με την τοπογραφία της επιλεγείσας περιοχής.

Το βασικότερο στοιχείο στην επιλογή της τοποθεσίας είναι η ύπαρξη ποταμού. Η ενέργεια που συλλέγεται από το ποτάμι εξαρτάται από δύο παράγοντες, τον όγκο του ρέοντος ύδατος και την πτώση υψομέτρου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ένας ποταμός με απότομη ροή θα αποφέρει περισσότερη ενέργεια από έναν λιγότερο ορμητικό παρόμοιου όγκου ύδατος. Αυτό δε σημαίνει ότι ποταμοί με αργή ροή δεν είναι κατάλληλοι για υδροηλεκτρική παραγωγή. Συνήθως βρίσκονται σε περιοχές που είναι ευκολότερη και οικονομικότερη τέτοιου είδους ανάπτυξη. Αντιθέτως οι ορμητικοί ποταμοί είναι συνήθως σε δυσπρόσιτες περιοχές όπου η κατασκευή υδροηλεκτρικής μονάδας είναι οικονομικά ασύμφορη.

Πολλές χώρες έχουν πραγματοποιήσει διερευνητικές μελέτες του υδροηλεκτρικού δυναμικού εντός της επικράτειάς τους και πολλές πληροφορίες μπορούν να δοθούν από τα αρμόδια υπουργεία. Χρήση τέτοιων δεδομένων ενδείκνυται για την επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας ωστόσο επιτόπιες μελέτες είναι απαραίτητες πριν τη λήψη τελικής απόφασης για την καταλληλότητα της τοποθεσίας [27].

Υδραυλική εγκατάσταση

Μόλις γίνει η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας, η εκμετάλλευση του υδραυλικού δυναμικού γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι η κατασκευή ενός φράγματος και η δημιουργία ενός ταμιευτήρα πίσω από αυτό, από όπου παρέχεται νερό για την λειτουργία των υδροστροβίλων του υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Ο δεύτερος, που ονομάζεται υδροηλεκτρικό εργοστάσιο συνεχούς ροής, λειτουργεί χωρίς ταμιευτήρα. Λαμβάνει νερό κατευθείαν από τον ποταμό και το οδηγεί στους υδροστροβίλους. Κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή έγκειται στις ιδιαιτερότητες του κάθε έργου [15].

Εγκατάσταση συνεχούς ροής

Η εγκατάσταση συνεχούς ροής είναι η φθηνότερη και η απλούστερη επιλογή για την κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Καθώς δεν απαιτείται φράγμα μια πολύ σημαντική δαπάνη αποφεύγεται και επίσης αποφεύγονται γεωλογικά προβλήματα που σχετίζονται με την κατασκευή του φράγματος. Ωστόσο απαιτείται κάποιου είδους κατασκευή εκτροπής της ροής του ποταμού ώστε να οδηγείται μέρος της ροής αυτού μέσω καναλιού στους υδροστροβίλους.

Η απλότητα της εγκατάστασης συνεχούς ροής είναι ελκυστική αλλά αποτελεί επίσης και την κύρια αδυναμία αυτής της μεθόδου. Χωρίς την ύπαρξη ταμιευτήρα για την αποθήκευση νερού, η εγκατάσταση εξαρτάται αποκλειστικά από τη ροή του ποταμού. Καθώς αυτή κυμαίνεται θα επηρεάζει και την ηλεκτροπαραγωγή της εγκατάστασης. Σε περιόδους ξηρασίας η εγκατάσταση δεν θα μπορεί να παράγει καθόλου ηλεκτρισμό ενώ σε περιπτώσεις πλημμυρίδας το επιπλέον υδραυλικό δυναμικό δε θα είναι εκμεταλλεύσιμο. Ωστόσο αυτού του είδους η εγκατάσταση έχει και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα πέραν του κόστους κυρίως λόγω της ελάχιστης περιβαλλοντικής διαταραχής που προκαλεί [27][28].

Εγκατάσταση με ταμιευτήρα

Η εναλλακτική επιλογή, για την υλοποίηση μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης, είναι η δημιουργία ταμιευτήρα. Κάτι τέτοιο απαιτεί την ύπαρξη σημαντικών υποδομών κυριότερη των οποίων είναι εκείνη του φράγματος. Για την κατασκευή φράγματος χρειάζεται προσεκτική γεωλογική μελέτη του υπεδάφους και εντοπισμός τυχόν αδυναμιών αυτού. Το ασθενές υπέδαφος δεν αποτρέπει τη δημιουργία του φράγματος αλλά αν κάτι τέτοιο εντοπιστεί κατά την κατασκευή θα προκαλέσει επιπλέον κόστη και μπορεί να καθυστερήσει την ολοκλήρωσή της κατά μήνες ή και χρόνια.

Ο σκοπός το φράγματος είναι η δημιουργία ταμιευτήρα νερού πίσω απ' αυτό επιτρέποντας έτσι μερικό έλεγχο της ροής νερού στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο. Το νερό μπορεί να αποθηκεύεται σε περιπτώσεις υψηλής ροής και να χρησιμοποιείται σε περιόδους ξηρασίας. Βοηθά επίσης και στην αποτροπή υπερχειλίσης του ποταμού πέραν του φράγματος.

Τρεις είναι οι κύριοι τύποι φραγμάτων που χρησιμοποιούνται στις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις τα φράγματα σκυροδέματος, τα τοξωτά φράγματα και τα φράγματα αναχώματος.

Το φράγμα σκυροδέματος είναι, επί της ουσίας, μια ογκώδης κατασκευή από σκυρόδεμα που, ως αποτέλεσμα του βάρους της, αντιστέκεται στην πίεση του νερού πίσω της. Πρέπει, ωστόσο, να φροντισθεί ώστε να μην ρέει το νερό γύρω ή κάτω από το φράγμα. Τέτοιου είδους κατασκευές επιλέγονται όταν ένα υψηλό φράγμα μπορεί να κτιστεί εγκαρσίως ενός στενού φαράγγιού.

Αν το έδαφος στις άκρες του φράγματος είναι συμπαγές και ανθεκτικό τότε είναι δυνατή η κατασκευή τοξωτού φράγματος. Η αρχή λειτουργίας του είναι η ίδια με της

αψίδας στα κτίρια μόνο που εδώ το τόξο της κατασκευής στρέφεται έναντι του ρεύματος του ποταμού ώστε να αντιστέκεται στην πίεση του νερού. Αν τα άκρα του φράγματος είναι καλά θεμελιωμένα στο έδαφος τότε η κατασκευή αυτή είναι πολύ ανθεκτική και χρειάζεται πολύ λιγότερα υλικά από τους άλλους τύπους.

Η επιλογή ενός φράγματος αναχώματος ενδείκνυται όταν απαιτείται ένα ευρύ και ρηχό φράγμα. Η κατασκευή του γίνεται με ένα μείγμα υλικών κυρίως όμως χώματος. Το φράγμα επιτρέπει μια ποσότητα νερού να περνά μέσα από αυτό κάτι που πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά για την αποφυγή τυχόν ζημιών στο φράγμα. Πρέπει ακόμη να διασφαλίζεται η μη υπερχειλίση του φράγματος καθώς έτσι κινδυνεύει η κατασκευή.

Το κόστος του φράγματος είναι από τους σημαντικότερους συντελεστές της χρηματοδότησης ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Το φράγμα, και ο ταμιευτήρας που δημιουργεί, είναι το τμήμα της εγκατάστασης που προκαλεί και τις περισσότερες αντιδράσεις. Ο ταμιευτήρας θα κατακλύσει μια μεγάλη έκταση γης εκτοπίζοντας ανθρώπους και καταστρέφοντας οικοσυστήματα. Λεπτομερείς περιβαλλοντικές μελέτες απαιτούνται πριν την κατασκευή του φράγματος για να διερευνηθούν οι επιπτώσεις που θα έχει [27][28].

Υδροστρόβιλοι

Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο χρησιμοποιεί την ενέργεια που περιέχεται στο νερό του ποταμού για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Φράγματα, κανάλια και σωληνώσεις υψηλής πίεσης ελέγχουν και μεταφέρουν το νερό αλλά το βασικό στοιχείο στη διαδικασία μετατροπής ενέργειας είναι ο υδροστρόβιλος. Ως υδροστρόβιλος ορίζεται η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια του νερού σε μηχανική μέσω συνεχούς ροής του νερού και περιστροφικής κίνησης. Η μετατροπή μέρους της ενέργειας του διερχόμενου νερού σε μηχανική λαμβάνει χώρα στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο καλείται δρομέας, μέσω της ανάπτυξης κινητήριας ροπής σε αυτό.

Ο υδροστρόβιλος είναι απλός, αξιόπιστος και αποτελείται από απλά εξαρτήματα φτιαγμένα από συνήθη υλικά. Το μεγαλύτερο μέρος του υδροστρόβιλου είναι φτιαγμένο από σίδηρο ή ατσάλι.

Οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τους υδροστρόβιλους ολικής προσβολής και τους υδροστρόβιλους μερικής προσβολής. Στους πρώτους η λειτουργία του δρομέα είναι αξονοσυμμετρική και για το λόγο αυτό το τμήμα εισόδου πρέπει να περιβάλλει το δρομέα εξασφαλίζοντας αξονοσυμμετρικές συνθήκες της ροής στη διατομή εισόδου του δρομέα. Αντίθετα στους υδροστρόβιλους μερικής προσβολής, σε κάθε χρονική στιγμή, μόνο ένα τμήμα του δρομέα τροφοδοτείται και συμβάλει στη μετατροπή της ενέργειας.

Οι υδροστρόβιλοι ολικής προσβολής χαρακτηρίζονται και ως υδροστρόβιλοι αντιδράσεως καθώς η ροή μέσω του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του νερού. Οι υδροστρόβιλοι μερικής προσβολής χαρακτηρίζονται

και ως υδροστρόβιλοι δράσεως δεδομένου ότι ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης οπότε και ο βαθμός αντιδράσεως είναι μηδενικός [28].

Γεννήτριες

Τα περισσότερα υδροηλεκτρικά εργοστάσια χρησιμοποιούν συμβατικές γεννήτριες, διαθέτοντας μια ηλεκτρογεννήτρια για κάθε υδροστρόβιλο. Γενικά και οι στρόβιλοι και οι γεννήτριες είναι ειδικά σχεδιασμένες για κάθε εγκατάσταση και οι ταχύτητες περιστροφής τους είναι σταθερές. Πρόσφατα έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται περισσότερες γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής. Αυτές δίνουν μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας επιτρέποντας τη λειτουργία του υδροστρόβιλου σε διάφορες ταχύτητες περιστροφής ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση για διάφορες συνθήκες ροής. Ωστόσο οι γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής είναι πιο ακριβές από εκείνες με σταθερή ταχύτητα περιστροφής [27][28].

Πλεονεκτήματα

Κόστος λειτουργίας

Ένα βασικό πλεονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ανυπαρξία κόστους καυσίμου, χωρίς να υπολογίζουμε όμως την αρχική επένδυση για την υδραυλική εγκατάσταση. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου (το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι σημαντικά μικρότερο). Οι υδροστρόβιλοι είναι στιβαρές και αξιόπιστες μηχανές που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη (ο προληπτικός έλεγχος γίνεται μετά από 5000 ώρες λειτουργίας περίπου) και για το λόγο αυτό το προσωπικό των υδροηλεκτρικών εργοστασίων είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ. Η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών εργοστασίων είναι μεγάλη, της τάξεως των 50 ετών για τις μεγάλες και 20 για τις μικρές εγκαταστάσεις [7].

Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και έτσι δεν αντιμετωπίζουν ορατό κίνδυνο εξαντλήσεώς τους κάτι που εξασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία του εργοστασίου καθιστώντας την υδροηλεκτρική ενέργεια ανανεώσιμη.

Περιβαλλοντικά και τοπικά οφέλη

Τα υδροηλεκτρικά έργα δεν έχουν κατάλοιπα και δεν μολύνουν το περιβάλλον με διάφορες εκπομπές. Η κατασκευή τους συνδυάζεται συχνά και με άλλες διευθετήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύρας που βοηθούν σημαντικά την οικονομία της περιοχής χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το φράγμα Χούβερ στην Αμερική όπου το νερό του ταμιευτήρα χρησιμοποιείται από 8 εκατομμύρια κατοίκους των πολιτειών της Καλιφόρνια, Νεβάδα και Αριζόνα. Για τις ανάγκες κατασκευής του

υδροηλεκτρικού εργοστασίου κατασκευάζονται έργα υποδομής (δρόμοι, γέφυρες) που βοηθούν στην αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών.

Ρύθμιση ηλεκτροπαραγωγής

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των ΥΗΕ είναι η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου. Από οικονομικής πλευράς αυτό έχει μεγάλη σημασία διότι το κόστος της kWh αιχμής είναι πολλαπλάσιο της kWh βάσεως. Σ' αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών εργοστασίων βασίζεται και η κατασκευή αναστρέψιμων μονάδων οι οποίες κατά την διάρκεια της χαμηλής ζήτησης (νύχτα) λειτουργούν αντλώντας νερό από την κάτω δεξαμενή προς την ανώτερη αποταμιεύοντας ενέργεια, την οποία είναι έτοιμα να αποδώσουν κατά τις ώρες αιχμής (όπου φυσικά πωλείται ακριβότερα)

Μειονεκτήματα

Ταμιευτήρας

Μετά την κατασκευή του φράγματος η περιοχή πίσω από αυτό πλημμυρίζει για τη δημιουργία του ταμιευτήρα. Αυτή η χαμένη γη είναι που προκαλεί και τις περισσότερες αντιδράσεις. Η σημαντικότερη επίπτωση είναι η εκτόπιση των ανθρώπων που κατοικούν στην εν λόγω περιοχή. Η επανεγκατάστασή τους μπορεί να προκαλέσει έντονες αντιδράσεις ιδίως αν πρόκειται για μειονότητες ή για πληθυσμούς με ιστορικό δέσιμο με την περιοχή. Ακόμη πρέπει να διερευνηθεί αν η περιοχή του ταμιευτήρα είναι αρχαιολογικός χώρος ή αν έχει κάποιο αρχαιολογικό ενδιαφέρον. Τέλος η κατασκευή ενός τέτοιου έργου θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα. Γενικά η δημιουργία ταμιευτήρα προκαλεί πάντοτε έντονες αντιδράσεις και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό του έργου καθώς μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δικαστικές διαμάχες και να απαιτήσει σημαντικές δαπάνες για αποζημιώσεις και συμβιβασμούς.

Διακοπή της φυσικής ροής

Μια από τις βασικές συνέπειες της διακοπής της ροής του ποταμού είναι η παρεμπόδιση της μετανάστευσης των ψαριών και η τοπική μετακίνηση ή μετανάστευση χερσαίων ζώων που χρησιμοποιούσαν τη ρεματιά ως πέρασμα. Το πρόβλημα απαλύνεται με τη δημιουργία τεχνητού καναλιού για τα ψάρια και κάποια περάσματα για τα άλλα ζώα. Ακόμη ο ποταμός πολλές φορές μεταφέρει ύλη η οποία εμπλουτίζει τις παραποτάμιες περιοχές αυξάνοντας τη γονιμότητά τους. Όταν κατασκευαστεί το φράγμα το μεγαλύτερο ποσοστό της ύλης κατακάθεται στον πάτο του ταμιευτήρα μειώνοντας έτσι τη ροή της και διαταράσσοντας την ισορροπία των παρακάτω περιοχών.

Οικονομικό ρίσκο

Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν μεγάλη διάρκεια κατασκευής (της τάξεως των 10 ετών) ενώ επίσης μεγάλη είναι η διάρκεια των μελετών και η συλλογή και -επεξεργασίας υδρολογικών και γεωλογικών στοιχείων. Έχουν, επίσης, πολύ υψηλό κόστος και γι αυτό απαιτείται η διάθεση πολύ μεγάλων κεφαλαίων. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι το οικονομικό ρίσκο που εμπεριέχει μια τέτοια επένδυση είναι πολύ μεγάλο καθώς απαιτείται τεράστιο αρχικό κεφάλαιο ενώ ο χρόνος απόσβεσής του εκτίνεται σε δεκαετίες.

Εκπομπές CO₂

Μια μελέτη από τη Παγκόσμια Επιτροπή Φραγμάτων (WCD), αναφέρει την πιθανότητα τα μεγάλα υδροηλεκτρικά να οδηγούν στην περαιτέρω επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι τεράστιες ποσότητες των φυτών που ξεριζώνονται λόγω της κατασκευής μεγάλων φραγμάτων και σαπίζουν παράγουν σημαντικές ποσότητες μεθανίου, που ως γνωστόν είναι 20 φορές πιο καταστροφικό από το διοξείδιο του άνθρακα. Τα φαινόμενα αυτά είναι πιο έντονα σε ζεστές χώρες όπως η Βραζιλία. Ακόμη σημαντική πηγή μεθανίου μπορεί να γίνει και ο ταμιευτήρας αν αυτός περιέχει μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης, ιδίως σε τροπικά κλίματα, και οι συνθήκες είναι κατάλληλες για αναερόβιες ζυμώσεις. Κάτι τέτοιο μπορεί να αποφευχθεί αν η περιοχή του ταμιευτήρα καθαριστεί προσεκτικά πριν την πλημμύριση, έτσι συνήθως ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο εκπέμπει σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του περίπου το 10% των εκπομπών ίδιου μεγέθους εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργεί με άνθρακα.

Βιβλιογραφία 2^{ου} Κεφαλαίου

1. Ευάγγελος Παπαδόπουλος. 'Ηλεκτρομηχανικά Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας', Αθήνα, 2001
2. W. Shepherd, D. W. Shepherd. 'Energy Studies', Singapore: Imperial College Press, 1997, ISBN 1860943225
3. Φίλιππος Ι. Δημόπουλος, Παναγιώτης Τσαραμιάδης . 'Δίκτυα σταθμοί : παραγωγή, μεταφορά, διανομή ηλεκτρικής ενέργειας', Αθήνα : Εκδόσεις Ηβος, 1986
4. Εμμ. Κ. Κακαράς. 'Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί', Αθήνα, 2005, ISBN 960-330-475-1
5. Βασ. Κ. Παπαδιάς. 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Οικονομική Λειτουργία Συστήματος', Αθήνα, 1985
6. Φ. Ζαννίκος, Σ. Στούρνας. 'Σημειώσεις Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών', Αθήνα, 2001
7. Ι. Παπαδάς. 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες, Συγκρίσεις και τα Σχετικά Εξωτερικά Κόστη', Αθήνα, 2001
8. Ε. Καλκάνη. 'Μαθήματα ενέργειας', Αθήνα, 1986
9. Στυλιανός Ε. Χατζηδάκης. 'Πειραματική Μελέτη Επαναψύξεως Υπερθερμανθείσων Επιφανειών με Παράμετρο την Υπόψυξη σε Πιέσεις 1,2 και 3 bar', Αθήνα, 2006
10. Μ. Γ. Αγγελόπουλος. 'Πυρηνική Τεχνολογία'
11. Nuclear Engineering International. Nuclear Engineering International Handbook 2010.
12. John R. Lamarsh . 'Introduction to Nuclear Engineering 2nd ed', Menlo Park CA. : Addison-Wesley , 1983 , ISBN 0201142007
13. Raymond L. Murray. 'Nuclear energy : an introduction to the concepts, systems, and applications of nuclear processes 5th ed.', Boston MA. : Butterworth-Heinemann , 2001, ISBN 075067136X
14. David Bodansky. 'Nuclear Energy Principles, Practices and Prospects 2nd ed.', New York, ISBN 0-387-20778-3
15. A.K. Raja, Amit Prakash Srivastava, Manish Dwivedi. 'Power Plant Engineering', New Delhi, 2006, ISBN 81-224-2333-7
16. L. S. Tong and Joel Weisman. 'Thermal analysis of pressurized water reactors, 3rd ed.', Illinois, 1996, ISBN: 0-89448-038-3
17. Tomas Markvart. 'Solar Electricity, 2nd ed.', Chichester : John Wiley & Sons , 1994 , ISBN 0471988529
18. Thomas B. Johansson , Henry Kelly, Amula K. N. Reddy, Robert H. Williams. 'Renewable Energy: Sources For Fuels And Electricity', London : Earthscan Publications Ltd, 1993 , ISBN 1559631392
19. Π. Κ. Χαβιαρόπουλος. 'Τεχνολογίες ΑΠΕ και η εφαρμογή τους στην Ελλάδα' RENES: Εθνικό Συνέδριο Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Εθνικές Προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή Στρατηγική', Αθήνα, 30/10-2/11/1998

20. Γ. Μπεργελές. 'Ανεμοκινητήρες', Αθήνα, 1995, ISBN 960-7346-19-x
21. Thomas Ackermann, Lennart Söder. 'Wind energy technologies and current status: a review', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2000, p.315-374, v.4
22. Ζερβός, Αρθούρος, Ταμπάκη Κλ .. 'Η εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: εθνικές προτεραιότητες και ευρωπαϊκή στρατηγική : πρακτικά', Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1998
23. Παρασκευόπουλος, Αλέξανδρος . 'Αιολική ενέργεια - αξιολόγηση ιδιωτικών επενδύσεων σε αιολικά πάρκα', Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2000
24. ETSU (Energy Technology Support Unit). 'An Assessment of Renewable Energy for the UK', London : HMSO, c1994, ISBN 0115153489
25. Robert D. Kahn. "Wind Energy: On Its Way," , Independent Energy, Tulsa, OK, March 2000, p.16-18, v.30 no.2
26. World Energy Council. 'Survey of Energy Resources 19th ed.', London, 2001
27. Paul Breeze. 'Power Generation Technologies', Oxford, 2005, ISBN 0-7506-6313-8
28. Δημήτριος Ε. Παπαντώνης. 'Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα', Αθήνα, 2008, ISBN 960-7888-23-5

Internet

1. European Union of the Natural Gas Industry. <http://www.eurogas.org/>
2. International Gas Union (IGU). <http://www.igu.org/>
3. American Wind Energy Association. <http://www.awea.org/>
4. World Energy Council. <http://www.worldenergy.org/>
5. Ινστιτούτο Μελετών Κοινωνικής Οικονομίας. <http://www.oikoenergeia.gr/>

3. Κόστος Εκπομπών CO₂

3.1. Εθνικές Δεσμεύσεις ως προς τις εκπομπές CO₂

Στα πλαίσια του περιορισμού των κλιματικών αλλαγών, που προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η Ελλάδα έχει αναλάβει μια σειρά δεσμεύσεων τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

Η πρώτη διεθνής δέσμευση που έλαβε η Ελλάδα αποτέλεσε ήταν η ψήφιση του «Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» κατά την 3^η Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών το Δεκέμβριο του 1997, στο Κιότο της Ιαπωνίας. Το Πρωτόκολλο καθορίζει στο Παράρτημα Β νομικά δεσμευτικούς στόχους εκπομπών για τις ανεπτυγμένες χώρες. Συγκεκριμένα, οι χώρες αυτές δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου (Διοξείδιο του άνθρακα-CO₂, Μεθάνιο-CH₄, Υποξείδιο του αζώτου-N₂O, Υδροφθοράνθρακες-HFCs, Υπερφθοράνθρακες-PFCs και Εξαφθοριούχο θείο-SF₆) κατά 5% τουλάχιστον κάτω από τα επίπεδα του 1990 στο διάστημα 2008-2012 (γνωστό ως η πρώτη περίοδος δέσμευσης). Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο του Κιότο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα Κράτη-Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το κύρωσε τον Μάιο του 2002 με το Νόμο 3017 (ΦΕΚ 117/Α/2002) [1].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε, βάσει του άρθρου 4 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, να πετύχει την περίοδο 2008-2012 μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών των 6 αερίων του θερμοκηπίου κατά 8%, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για την Ελλάδα, με τη συμφωνία στο Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος τον Ιούνιο του 1998 (burden-sharing agreement), ορίστηκε μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση της τάξης του 25%.

Σύμφωνα με το άρθρο 25 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αυτό θα τεθεί σε ισχύ 90 ημέρες από την ημερομηνία κατά την οποία τουλάχιστον 55 Μέρη της Σύμβασης - Πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένων των Μερών του Παραρτήματος-I που αντιπροσωπεύουν συνολικά τουλάχιστον 55% των συνολικών εκπομπών CO₂ κατά το 1990, έχουν καταθέσει πράξεις επικύρωσης, αποδοχής, έγκρισης ή προσχώρησης σε αυτή. Το Πρωτόκολλο τέθηκε τελικά σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, μετά από την επικύρωσή του και από τη Ρωσία στις 18 Νοεμβρίου 2004 και την εκπλήρωση των δύο παραπάνω όρων. Μέχρι το τέλος Φεβρουαρίου του 2006 το Πρωτόκολλο είχε επικυρωθεί από 162 Μέρη. Τα ανεπτυγμένα κράτη που έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο αντιπροσωπεύουν το 61,6% των συνολικών εκπομπών CO₂ (οι ΗΠΑ που έχουν δηλώσει ότι δεν θα το επικυρώσουν αντιπροσωπεύουν το 36,1% των εκπομπών CO₂) [1][11].

Για την επίτευξη των στόχων που θέτει το Πρωτόκολλο του Κιότο, μια χώρα μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει εγχώριες πολιτικές και μέτρα για να μειώσει τις εκπομπές της, είτε να χρησιμοποιήσει παράλληλα και κάποιους από τους τρεις «ευέλικτους μηχανισμούς» με βάση την οικονομία της αγοράς που προβλέπονται από το Πρωτόκολλο: την από Κοινού Εφαρμογή (Joint Implementation/JI), το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism/CDM) και την Εμπορία Εκπομπών (Emissions Trading/ET).

Η Εμπορία Εκπομπών (Emissions Trading/ET) αποτελεί ένα από τα σημαντικά εργαλεία, που προβλέπονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η εφαρμογή του

Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) σε διεθνή κλίμακα, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, αναμένεται να ξεκινήσει το 2008. Μέχρι τότε, η Ε.Ε. θεωρώντας σημαντική την απόκτηση από τα Κράτη-Μέλη εμπειρίας καθιέρωσε το δικό της ΣΕΔΕ, προκειμένου να προωθηθεί η μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Το Κοινοτικό αυτό σύστημα σε συνδυασμό με άλλες πολιτικές και μέτρα, εκτιμάται ότι θα αποτελέσει τμήμα της στρατηγικής της Ε.Ε. στην κατεύθυνση της εκπλήρωσης των δεσμεύσεων της και κατά συνέπεια και των δεσμεύσεων των Κρατών-Μελών που την αποτελούν. Στο πλαίσιο αυτό, το 6^ο Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον αναγνωρίζει ότι η Ε.Ε. έχει δεσμευτεί για μείωση των εκπομπών κατά 8%, (την περίοδο 2008-2012) σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, αλλά και ότι μακροπρόθεσμα οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα χρειαστεί να μειωθούν κατά 70% περίπου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [11].

Το ΣΕΔΕ της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι διαφορετικό, αλλά συνδέεται με το Πρωτόκολλο του Κιότο και τέθηκε σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2005. Η λειτουργία του πρωτότυπου αυτού συστήματος βασίζεται στην Οδηγία 2003/87/ΕΚ «σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας» και καλύπτει 11.428 εγκαταστάσεις στα 25 Κράτη-Μέλη (ενεργειακού τομέα, παραγωγής και επεξεργασίας σιδηρούχων μετάλλων, ανόργανων υλικών και χαρτοβιομηχανίες), στις οποίες αντιστοιχεί σχεδόν το μισό των εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη. Το Σύστημα καλύπτει αρχικά μόνον εκπομπές του CO₂.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (οργάνωση και λειτουργία) καθορίζεται με βάση την ΚΥΑ 54409/2632 του Δεκεμβρίου του 2004 (ΦΕΚ 1931/Β/2004) με την οποία εναρμονίστηκε η Οδηγία 2003/87/ΕΚ στο εθνικό δίκαιο και τροποποιήθηκε η Οδηγία 96/61/ΕΚ [2][11][12].

3.2. Αρχές Λειτουργίας της Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

Στην Ελλάδα η Εμπορία Εκπομπών αφορά άμεσα στις 141 υπόχρεες εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στις δραστηριότητες του Παραρτήματος I της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ και της ΚΥΑ 54409/2632. Η Εμπορία Εκπομπών δεν συνεπάγεται νέους περιβαλλοντικούς στόχους, αλλά παρέχει τη δυνατότητα συμμόρφωσης, κατά τρόπο λιγότερο δαπανηρό, με τους στόχους βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στις επιχειρήσεις που εμπίπτουν σε αυτό να αγοράζουν ή να πωλούν δικαιώματα εκπομπής πετυχαίνοντας το καλύτερο αποτέλεσμα με το ελάχιστο κόστος.

Συγκεκριμένα:

- Η Ελλάδα όπως και τα υπόλοιπα Κράτη-Μέλη καθορίζει οριακές τιμές εκπομπών CO₂ για τις εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο ΣΕΔΕ και εκδίδει δικαιώματα για τις ποσότητες CO₂ που επιτρέπεται να εκπέμπουν οι εγκαταστάσεις αυτές. Ο συνολικός αριθμός εκπομπών, καθώς και η κατανομή των δικαιωμάτων αυτών (1 δικαίωμα = 1 τόνος ισοδυνάμου CO₂) για κάθε κλάδο και κάθε συγκεκριμένη

εγκατάσταση προσδιορίζεται από το Εθνικό Σχέδιο Κατανομής (ΕΣΚ) Δικαιωμάτων Εκπομπών (National Allocation Plan).

- Οι εγκαταστάσεις που θα πετυχαίνουν μειώσεις κάτω από τις καθοριζόμενες τιμές, στη διάρκεια ενός έτους, μπορούν να πωλούν τις ποσότητες που εξοικονόμησαν (σε μορφή δικαιωμάτων), σε αυτές που αδυνατούν να τηρήσουν τις τιμές εκπομπής ή σε αυτές που το κόστος για τις επεμβάσεις μείωσης εκπομπών είναι μεγαλύτερο αυτού της αγοράς δικαιωμάτων. Αντίστοιχα, μια εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τις εκπομπές της πάνω από τα επίπεδα της άδειας που της έχει χορηγηθεί αγοράζοντας ανάλογα δικαιώματα από την αγορά. Το Εθνικό Καταγραφικό Σύστημα Συναλλαγών – Μητρώο (National Registry) εξασφαλίζει την ορθή λογιστική απεικόνιση όλων των συναλλαγών (π.χ. έκδοση, ιδιοκτησία, μεταβίβαση, ακύρωση).
- Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης των καλυπτόμενων εγκαταστάσεων προβλέπεται η επιβολή υψηλού πρόστιμου, σημαντικά υψηλότερου του κόστους συμμόρφωσης. Στην πρώτη φάση εφαρμογής του συστήματος (2005-2007) το πρόστιμο καθορίστηκε στα 40€ ανά τόνο CO₂, ενώ στη δεύτερη φάση 2008-2012 στα 100€ ανά τόνο CO₂ [2].

Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι η Εμπορία Εκπομπών επιτρέπει να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι με τρόπο οικονομικά αποτελεσματικό (το οικονομικό κόστος είναι μικρότερο από ότι θα ήταν αν δεν υπήρχε η δυνατότητα της συναλλαγής). Οι επιχειρήσεις που ήδη είναι σε θέση να εφαρμόσουν τεχνολογίες για τη μείωση των εκπομπών τους με μικρό μοναδιαίο κόστος θα επωφεληθούν άμεσα από την πώληση δικαιωμάτων εκπομπών. Οι επιχειρήσεις που χρειάζεται να δαπανήσουν σημαντικά κεφάλαια για την μείωση των εκπομπών τους θα προτιμήσουν, στην αρχή τουλάχιστον και όσο το κόστος ανά δικαίωμα παραμένει μικρό, να αγοράζουν πρόσθετα δικαιώματα.

Το νομικό πλαίσιο του ΣΕΔΕ δεν ρυθμίζει το πώς και το πού θα λαμβάνει χώρα η αγορά δικαιωμάτων. Εγκαταστάσεις που emπίπτουν στο ΣΕΔΕ είναι δυνατόν να εμπορεύονται δικαιώματα απευθείας μεταξύ τους, είτε να αγοράζουν ή να πωλούν, με παρέμβαση διαμεσολαβητή, τράπεζας ή άλλου μεσάζοντα της αγοράς δικαιωμάτων. Τέλος, είναι δυνατή η ανάπτυξη οργανωμένων αγορών (συναλλαγών δικαιωμάτων).

Το σύστημα είναι αμιγώς ηλεκτρονικό και έτσι τα δικαιώματα δεν τυπώνονται σε χαρτί, αλλά υπάρχουν μόνο σε μερίδα μητρώου. Κάθε πρόσωπο που ενδιαφέρεται για αγορά ή πώληση δικαιωμάτων, θα πρέπει να κατέχει μερίδα. Σε κάθε Κράτος-Μέλος υπάρχει ένα Εθνικό Καταγραφικό Σύστημα Συναλλαγών (National Registry) βάσει του οποίου γίνονται οι συναλλαγές και παρακολουθούνται τα δικαιώματα. Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο πραγματοποιείται αυτομάτως έλεγχος ούτως ώστε να διασφαλίζεται η τήρηση των κανόνων της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ. Ορισμένα δεδομένα τηρούμενα στο μητρώο θα αποδεσμεύονται περιοδικώς. Επίσης, θα επιδιώκεται ισορροπία μεταξύ περιβαλλοντικής διαφάνειας και εμπορικού απορρήτου.

Η τιμή δεν «καθορίζεται», αλλά είναι το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των μερών της αγοράς όσον αφορά στην τιμή που έχουν τη δυνατότητα να καταβάλλουν για δικαιώματα, ή την τιμή στην οποία έχουν την δυνατότητα να πωλούν δικαιώματα. Ουσιαστικά, δηλαδή, η τιμή είναι συνάρτηση προσφοράς και ζήτησης, όπως σε κάθε άλλη αγορά. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη των τιμών βραχυπρόθεσμα είναι οι αποφάσεις που λαμβάνονται στα ΕΣΚ και το αποτέλεσμα

των διαπραγματεύσεων μεταξύ των μερών για την εφαρμογή της σχετικής Οδηγίας. Η Επιτροπή δεν θα παρεμβαίνει στην αγορά δικαιωμάτων. Σε περίπτωση που παρατηρηθούν στρεβλώσεις, ισχύουν οι νόμοι του ανταγωνισμού, όπως σε κάθε άλλη αγορά.

Ο οικονομικός αντίκτυπος εφαρμογής του ΣΕΔΕ δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ακριβώς, καθώς το σύστημα περιλαμβάνει πληθώρα μεταβλητών. Σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις το κόστος για ολόκληρη την Ευρώπη θα κυμανθεί από 0,1% έως 0,3% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ). Αξίζει να σημειωθεί ότι στις βιομηχανικές δραστηριότητες έντασης ενέργειας (π.χ. τσιμεντοβιομηχανία, χαλυβουργία, χαρτο-βιομηχανία) οι οποίες έχουν προβεί κατά το παρελθόν σε ενέργειες εκσυγχρονισμού και βελτιώσεων, η περαιτέρω μείωση των ειδικών τους εκπομπών μπορεί να αποβεί περισσότερο δύσκολη και δαπανηρή, με δεδομένη και την εκτίμηση της πιθανής αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας [2][11][12].

3.3. Εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών.

Οι δραστηριότητες που καλύπτονται από το ΣΕΔΕ για την περίοδο 2005-2007 είναι οι ακόλουθες:

- ενεργειακές δραστηριότητες
- παραγωγή και επεξεργασία σιδηρούχων μετάλλων
- βιομηχανία ανόργανων υλικών (τσιμέντο, γυαλί, κεραμικά προϊόντα)
- βιομηχανίες πολτού, χαρτιού και χαρτονιού.

Πίνακας 3.1 Δραστηριότητες καλυπτόμενες από το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών [2]

Ενεργειακές δραστηριότητες

- Εγκαταστάσεις καύσεως με ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20 MW (εκτός εγκαταστάσεων επικινδύνων ή αστικών αποβλήτων).
- Δωλιστήρια πετρελαίου.
- Οπανθρακοποιεία.

Παραγωγή και επεξεργασία σιδηρούχων μετάλλων

- Εγκαταστάσεις φρύξεως ή θερμοσυσσωμάτωσης μεταλλευμάτων (συμπεριλαμβανομένων και θειούχων μεταλλευμάτων).
- Εγκαταστάσεις για την παραγωγή χυτοσιδήρου ή χάλυβα (πρωτογενής ή δευτερογενής τήξη) συμπεριλαμβανομένης και της συνεχούς χυτεύσεως, με δυναμικότητα άνω των 2,5 τόνων την ώρα.

Βιομηχανία ανόργανων υλών

- Εγκαταστάσεις για την παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου σε περιστροφικούς κλιβάνους παραγωγικού δυναμικού άνω των 500 τόνων την ημέρα ή ασβέστου σε περιστροφικούς κλιβάνους παραγωγικού δυναμικού άνω των 50 τόνων την ημέρα ή σε άλλους κλιβάνους παραγωγικού δυναμικού άνω των 50 τόνων την ημέρα.
- Εγκαταστάσεις για την παραγωγή υάλου, συμπεριλαμβανομένων και ινών υάλου, με τηκτική ικανότητα άνω των 20 τόνων την ημέρα.
- Εγκαταστάσεις για την παραγωγή κεραμικών προϊόντων με πύρωση, ιδίως δε κεραμιδιών, τούβλων, πυρίμαχων τούβλων, πλακιδίων, πήλινων σκευών ή πορσελάνης, παραγωγικού δυναμικού άνω των 75 τόνων την ημέρα ή/και χωρητικότητας κλιβάνων άνω των 4m³ και πυκνότητας στοιβασίας ανά κλίβανο άνω των 300kg/m³.

Άλλες δραστηριότητες

- Βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή:

α) πολτού από ξυλεία ή άλλα ινώδη υλικά,

β) χαρτιού και χαρτονιού, παραγωγικού δυναμικού άνω των 20 τόνων την ημέρα [2].

Οι εγκαταστάσεις (ή μέρη εγκαταστάσεων) που χρησιμοποιούνται για έρευνα, ανάπτυξη ή δοκιμές δεν καλύπτονται.

Οι κατώτατες οριακές τιμές αναφέρονται εν γένει σε παραγωγικό δυναμικό ή σε πραγματική παραγωγή. Όταν ένας φορέας εκμετάλλευσης αναπτύσσει στην ίδια εγκατάσταση ή στον ίδιο χώρο εγκαταστάσεων διάφορες δραστηριότητες υπαγόμενες στην ίδια υποκατηγορία, το εκάστοτε δυναμικό των δραστηριοτήτων αυτών αθροίζεται [2].

Η αρχική περίοδος εφαρμογής ήταν από την 1η Ιανουαρίου 2005 έως τις 31 Δεκεμβρίου 2007 και υπάρχουν επακόλουθες διαδοχικές πενταετείς περιόδοι [2].

Το σύστημα ξεκίνησε την 1η Ιανουαρίου 2005 και υπήρξε μια πρώτη, ή προκαταρκτική, φάση έως τις 31 Δεκεμβρίου 2007 την οποία ακολούθησε αμέσως μια δεύτερη πενταετής φάση (και επακόλουθες πενταετείς φάσεις). Η δεύτερη φάση συμπίπτει με την πρώτη περίοδο δέσμευσης στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο (2008 έως 2012), στη διάρκεια της οποίας νομικά δεσμευτικοί στόχοι περιορίζουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στα Κράτη-Μέλη (και άλλες χώρες που έχουν προσυπογράψει το Πρωτόκολλο). Η προκαταρκτική φάση σκοπό είχε να προετοιμάσει τα Κράτη-Μέλη και τις βιομηχανίες τους για τη διεθνή οικονομία άνθρακα βάσει του Πρωτοκόλλου. Ενόψει του γεγονότος ότι δεν υπήρχαν νομικά δεσμευτικοί στόχοι που να περιορίζουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως το 2008, η προκαταρκτική φάση διέφερε σε κάποια θέματα από τις επόμενες φάσεις, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας εξαίρεσης εγκαταστάσεων και χαμηλότερων προστίμων [2] [11].

Τα Κράτη-Μέλη είχαν τη δυνατότητα να προτείνουν να μη συμμετάσχουν στο σύστημα μεμονωμένες εγκαταστάσεις ή/και μεμονωμένοι βιομηχανικοί τομείς για την προκαταρκτική περίοδο. Ωστόσο, η Επιτροπή διατηρούσε το δικαίωμα να ασκήσει βέτο στις εν λόγω δυνατότητες μη συμμετοχής. Το πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι εξαιρούμενες εγκαταστάσεις έπρεπε να δεσμευτούν για ισοδύναμες περικοπές εκπομπών και υπόκειντο στις ίδιες απαιτήσεις υποβολής εκθέσεων και εξακρίβωσης, επιβαρυνόμενες με ισοδύναμα πρόστιμα για τη μη συμμόρφωση. Ουσιαστικά, αυτή η διάταξη είχε σκοπό να επιτρέψει στα υπάρχοντα εθνικά συστήματα εμπορίας εκπομπών, όπως αυτό στο Ηνωμένο Βασίλειο, να συνεχίσουν να λειτουργούν. Δεν υπάρχει η δυνατότητα μη συμμετοχής στη δεύτερη φάση [2][11].

3.4. Αρμόδια Αρχή

Αρμόδια αρχή για την εφαρμογή του ΣΕΔΕ ορίστηκε το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) το οποίο συντονίζει τα υπόλοιπα Υπουργεία.

Διυπουργική Επιτροπή συντονισμού εφαρμογής του ΣΕΔΕ

Για την πραγματοποίηση του συντονιστικού έργου του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. ορόστηκε επταμελής διυπουργική επιτροπή, τα μέλη της οποίας προτείνονται από τους φορείς που εκπροσωπούν και ορίζονται με απόφαση του Υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Συγκεκριμένα, η Επιτροπή αποτελείται από τρεις Εκπροσώπους του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., δύο Εκπροσώπους του Υπουργείου Ανάπτυξης και δύο Εκπροσώπους του Υπουργείου Οικονομίας και Οικονομικών.

Η Επιτροπή έχει τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

- Επεξεργάζεται τα Εθνικά Σχέδια Κατανομής μετά από την σχετική διαβούλευση με τους εμπλεκόμενους φορείς για την εφαρμογή τους.
- Επεξεργάζεται σε διαβούλευση με τους εμπλεκόμενους φορείς τις τυχόν τροποποιήσεις του ΕΣΚ, σε περίπτωση απόρριψής του από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
- Εισηγείται στον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.: i) την τελική έγκριση του ΕΣΚ, ii) τη λήψη των αναγκαίων μέτρων στην περίπτωση παύσης, οριστικής ή προσωρινής λειτουργίας ή μη λειτουργίας μιας εγκατάστασης, iii) νομοθετικά και διοικητικά μέτρα για την εφαρμογή του ΣΕΔΕ.
- Γνωμοδοτεί στον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. για: i) την προσωρινή εξαίρεση ορισμένων εγκαταστάσεων, ii) τη μονομερή ένταξη πρόσθετων δραστηριοτήτων στο ΣΕΔΕ και την κατανομή δικαιωμάτων στις εγκαταστάσεις των δραστηριοτήτων αυτών, iii) την αποδοχή ή μη των αιτήσεων ομαδοποίησης εκ μέρους των φορέων εκμετάλλευσης των εγκαταστάσεων που ασκούν μια από τις δραστηριότητες που εμπίπτουν στο ΣΕΔΕ, iv) την έκδοση πρόσθετων δικαιωμάτων σε εγκαταστάσεις λόγω ανωτέρας βίας, ε) την εκχώρηση σε πρόσωπα δικαιωμάτων για την τρέχουσα περίοδο εφαρμογής του ΣΕΔΕ προς αντικατάσταση δικαιωμάτων που ακυρώθηκαν και αφορούσαν προηγούμενη περίοδο εφαρμογής, v) τα ΕΣΚ άλλων Κρατών-Μελών που της διαβιβάζονται από το Γ.Ε.Δ.Ε. και vi) κάθε θέμα που αφορά στην εφαρμογή του ΣΕΔΕ και παραπέμπεται σε αυτή από τον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
- Συνεργάζεται με αρμόδιες αρχές άλλων Κρατών-Μελών ή με διεθνείς οργανισμούς και όργανα της Ε.Ε. για θέματα της αρμοδιότητάς της και διαπραγματεύεται με φορείς του Δημοσίου ή Ιδιωτικού τομέα την εφαρμογή του ΣΕΔΕ.

Γραφείο Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (Γ.Ε.Δ.Ε)

Η εποπτεία και ο έλεγχος εφαρμογής του ΣΕΔΕ ανατέθηκε στο Γραφείο Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (Γ.Ε.Δ.Ε.) που λειτουργεί στην Δ/ση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Ε.Α.Ρ.Θ.) της Γενικής Δ/σης Περιβάλλοντος του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Το Γ.Ε.Δ.Ε. έχει τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

- Καταρτίζει και δημοσιεύει τα ΕΣΚ, και τα κοινοποιεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τα Κράτη-Μέλη.
- Εισηγείται τις απαραίτητες τροποποιήσεις στα ΕΣΚ σε περίπτωση απόρριψής τους από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
- Μεριμνά για τη δημοσιοποίηση των ΕΣΚ και συνεκτιμά τις τυχόν παρατηρήσεις του κοινού που προκύπτουν από την κατάρτιση μέχρι την τελική έγκριση του ΕΣΚ.
- Εκδίδει τις Άδειες Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (ΕΑΘ), παρακολουθεί την τήρηση των όρων χορήγησής τους και ενημερώνει σχετικά την αρμόδια Αρχή για την έγκριση των Περιβαλλοντικών Όρων της εγκατάστασης.

- Εισηγείται προς τον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε για: i) την εκχώρηση σε πρόσωπα δικαιωμάτων για την τρέχουσα περίοδο εφαρμογής του ΣΕΔΕ προς αντικατάσταση δικαιωμάτων που ακυρώθηκαν και αφορούσαν προηγούμενη περίοδο εφαρμογής, ii) την προσωρινή εξαίρεση ορισμένων εγκαταστάσεων, iii) την αποδοχή ή μη των αιτήσεων ομαδοποίησης εκ μέρους των φορέων εκμετάλλευσης των εγκαταστάσεων που ασκούν μια από τις δραστηριότητες που εμπίπτουν στο ΣΕΔΕ, iv) την έκδοση πρόσθετων δικαιωμάτων σε εγκαταστάσεις λόγω ανωτέρας βίας, ε) την ένταξη πρόσθετων δραστηριοτήτων και αερίων στο ΣΕΔΕ, v) την επιβολή κυρώσεων (πχ. πρόστιμα, προσωρινή διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης), vi) νομοθετικά και διοικητικά μέτρα για την εφαρμογή του ΣΕΔΕ και ενημερώνει σχετικά την Επιτροπή. Για όλα τα παραπάνω εκτός την επιβολή κυρώσεων, το Γ.Ε.Δ.Ε. κοινοποιεί τις εισηγήσεις του στην Επιτροπή.
- Εισηγείται προς την Επιτροπή: i) τα ΕΣΚ, ii) τις απαραίτητες τροποποιήσεις στα ΕΣΚ σε περίπτωση απόρριψής τους από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, iii) την κατανομή Δικαιωμάτων σε εγκαταστάσεις, που αν και δεν περιλαμβάνονται στο 1ο ΕΣΚ, μπορεί να ενταχθούν στο ΣΕΔΕ μετά το 2008, iv) το ποσοστό εκχώρησης των συνολικών Δικαιωμάτων Εκπομπών ανά έτος της τρέχουσας περιόδου εφαρμογής του ΣΕΔΕ, v) τη μέθοδο κατανομής των Δικαιωμάτων που δεν κατανέμονται δωρεάν (σε περίπτωση που τέτοια υπάρχουν) και στ) τη λήψη των ενδεδειγμένων μέτρων σε περίπτωση παύσης (οριστικής ή προσωρινής) της λειτουργίας ή μη λειτουργίας κάποιας εγκατάστασης.
- Εποπτεύει και ελέγχει τις μεταβιβάσεις και την επιστροφή και ακύρωση των δικαιωμάτων καθώς και την εφαρμογή της παρακολούθησης των εκπομπών και την υποβολή εκθέσεων από τους φορείς εκμετάλλευσης κάθε εγκατάστασης και την επαλήθευση της εγκυρότητας των εκθέσεων.
- Συντάσσει την έκθεση που υποβάλλεται κάθε χρόνο από τη Γενική Δ/ση Περιβάλλοντος στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αφορά στην εφαρμογή του ΣΕΔΕ.
- Θέτει στη διάθεση του κοινού τις αποφάσεις έγκρισης του ΕΣΚ και τις εκθέσεις εκπομπών των εγκαταστάσεων που απαιτούνται βάσει της άδειας Ε.Α.Θ.
- Συνεργάζεται με το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ) για την κατάρτιση και την τήρηση του Μητρώου για την επακριβή καταγραφή της εκχώρησης, της κατοχής, της μεταβίβασης, και της ακύρωσης των δικαιωμάτων.
- Συντονίζει τις υπηρεσίες και τους κρατικούς φορείς και συμμετέχει στα αρμόδια Κοινοτικά ή διεθνή όργανα για θέματα της αρμοδιότητάς του [2][11].

3.5. Κατανομή και Εμπορία Δικαιωμάτων

Σύμφωνα με το άρθρο 9 της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ κάθε Κράτος-Μέλος της Ε.Ε. είχε την υποχρέωση να συντάξει και να υποβάλλει στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Εθνικό Σχέδιο Κατανομής (ΕΣΚ) Δικαιωμάτων Εκπομπών για την περίοδο 2005-2007, μέχρι τις 31 Μαρτίου 2004. Αντίστοιχα ΕΣΚ θα πρέπει να υποβάλλονται για τις επόμενες περιόδους (πχ. 2008-2012) από τα Κράτη-Μέλη προς έγκριση τουλάχιστον 18 μήνες πριν την έναρξη της περιόδου αυτής.

Το εκάστοτε ΕΣΚ προσδιορίζει:

- τη συνολική ποσότητα δικαιωμάτων που σκοπεύει να κατανείμει η χώρα για την αντίστοιχη περίοδο
- την κατανομή των δικαιωμάτων σε επίπεδο Δραστηριότητας και Εγκατάστασης.

Ο στόχος κάθε ΕΣΚ είναι να θεσπίσει το ανώτατο όριο των εκπομπών CO₂ από τις εγκαταστάσεις που συμμετέχουν στο σύστημα και να διασφαλίσει τη δίκαιη κατανομή μειώσεων των εκπομπών:

- μεταξύ των δραστηριοτήτων που συμμετέχουν στο ΣΕΔΕ και της υπόλοιπης οικονομίας
- μεταξύ των δραστηριοτήτων που συμμετέχουν στο ΣΕΔΕ
- μεταξύ των εγκαταστάσεων στις συμμετέχουσες δραστηριότητες.

Για να προστατευτεί η εσωτερική αγορά και να αποφευχθεί η στρέβλωση του ανταγωνισμού, τα Κράτη-Μέλη πρέπει να εφαρμόσουν κοινά κριτήρια για τα σχέδια κατανομής τους. Τα κριτήρια για τα ΕΣΚ παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙΙ της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ και της ΚΥΑ 54409/2632 (Παράρτημα Ι της παρούσας ΔΕ). Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιούνται διαφορετικές αρχές για την κατανομή δικαιωμάτων σε εγκαταστάσεις που ανταγωνίζονται στην Ευρώπη, μπορεί να σημειωθούν στρεβλώσεις στον ανταγωνισμό. Ένα Κράτος-Μέλος μπορεί να κατανείμει δικαιώματα που υπερβαίνουν τις ενδεχόμενες ανάγκες ενός τομέα ή μιας εγκατάστασης, αλλά αυτό θεωρείται παράνομη ενίσχυση [11][2].

Το Γ.Ε.Δ.Ε. καταρτίζει το ΕΣΚ και το εισηγείται για τελική επεξεργασία στην Επιτροπή, η οποία μετά τις απαραίτητες διαβουλεύσεις με τους εμπλεκόμενους φορείς εισηγείται την αποδοχή του στον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Όταν το ΕΣΚ γίνεται αποδεκτό από τον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. το Γ.Ε.Δ.Ε δημοσιοποιεί το ΕΣΚ για τυχόν υποβολή παρατηρήσεων του κοινού και κοινοποιεί το ΕΣΚ στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τα Κράτη-Μέλη. Εντός τριών μηνών από την κοινοποίηση του ΕΣΚ η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποδέχεται ή απορρίπτει αιτιολογημένα το ΕΣΚ στο σύνολό του ή τμηματικά. Η Επιτροπή επεξεργάζεται σε διαβούλευση με τους εμπλεκόμενους φορείς τις αναγκαίες τροποποιήσεις (μετά από σχετική εισήγηση του Γ.Ε.Δ.Ε) και εισηγείται σχετικά στον Υπουργό ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Μετά την αποδοχή των τροποποιήσεων, αυτές στέλνονται μέσω του Γ.Ε.Δ.Ε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και μετά την αποδοχή τους το ΕΣΚ εγκρίνεται. Το ΕΣΚ εγκρίνεται με κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης και ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. μετά από σχετική εισήγηση της Επιτροπής. Συνεπώς, για να εκδοθεί απόφαση έγκρισης του ΕΣΚ θα πρέπει να έχουν

ληφθεί υπόψη και συνεκτιμηθεί οι τυχόν παρατηρήσεις του κοινού και το ΕΣΚ να έχει γίνει αποδεκτό καθ' ολοκληρία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Στην απόφαση έγκρισης του ΕΣΚ γίνεται ειδική αναφορά:

- στη συνολική ποσότητα δικαιωμάτων προς κατανομή
- στην κατανομή των δικαιωμάτων στον φορέα εκμετάλλευσης κάθε εγκατάστασης
- στη μεθοδολογία κατανομής των δικαιωμάτων (για την περίοδο 2005-2007 τουλάχιστον το 95% των δικαιωμάτων καταναμήθηκε δωρεάν, ενώ για την μετέπειτα περίοδο το ποσοστό αυτό ανέρχεται τουλάχιστον σε 90%).

Στην απόφαση έγκρισης του ΕΣΚ καθορίζεται και το ποσοστό εκχώρησης των συνολικών δικαιωμάτων ποσότητας εκπομπών ανά έτος και λαμβάνεται υπόψη ως προς την κατανομή των δικαιωμάτων η ανάγκη πρόσβασης στα δικαιώματα αυτά και για νεοεισερχόμενους στην αγορά.

Μετά την έγκριση του ΕΣΚ τα δικαιώματα μεταβιβάζονται μεταξύ προσώπων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εκτός αυτής όπου τέτοια δικαιώματα αναγνωρίζονται. Συγκεκριμένα, η πραγματοποίηση συναλλαγών μεταξύ της Ελλάδας και τρίτων χωρών είναι δυνατή μόνο εφόσον έχουν συναφθεί συμφωνίες μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τρίτων χωρών για την αμοιβαία αναγνώριση των δικαιωμάτων αυτών σύμφωνα με τα όσα προβλέπει το άρθρο 25 της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ. Η Νορβηγία είναι η πρώτη χώρα που συνεργάζεται, ενώ το σύστημα δέχεται επίσης και πιστώσεις που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο από έργα μείωσης εκπομπών σε άλλες περιοχές (μηχανισμοί JI και CDM) [1][2].

Τα συνολικά δικαιώματα εκχωρούνται στην εγκατάσταση μέχρι 28 Φεβρουαρίου του οικείου έτους. Ο φορέας εκμετάλλευσης κάθε εγκατάστασης που εμπίπτει στο ΣΕΔΕ θα πρέπει μέχρι τις 30 Απριλίου κάθε έτους να επιστρέφει αριθμό δικαιωμάτων αντίστοιχο των συνολικών εκπομπών της εγκατάστασής του για το προηγούμενο ημερολογιακό έτος, όπως αυτές αναφέρονται στην επαληθευμένη έκθεση που καταρτίζει. Κάθε μεταβίβαση, επιστροφή και ακύρωση των δικαιωμάτων θα καταχωρείται στο Μητρώο το οποίο θα τηρείται από το ΕΚΠΑΑ.

Τα δικαιώματα ακυρώνονται μετά την επιστροφή τους ή ύστερα από αίτηση του κατόχου τους στο ΕΚΠΑΑ ή αυτεπάγγελα μετά το πέρας της περιόδου χρήσης τους. Κάθε, τέτοια μεταβίβαση, επιστροφή και ακύρωση δικαιωμάτων καταχωρείται στο Μητρώο που τηρείται από το ΕΚΠΑΑ. Το ΕΚΠΑΑ είναι δυνατόν να τηρεί το Μητρώο στο πλαίσιο ενός ενιαίου συστήματος μαζί με ένα ή περισσότερα Κράτη-Μέλη της Ε.Ε.

Δικαιώματα μπορεί να κατέχει οποιοδήποτε πρόσωπο έχει τις νόμιμες προϋποθέσεις. Για την καταχώρηση κάθε συναλλαγής δικαιωμάτων στο Μητρώο θα πρέπει ο κάτοχος των δικαιωμάτων να υποβάλει αίτηση στο ΕΚΠΑΑ. Οι χρήστες του Μητρώου πρέπει να καταβάλλουν παράβολο το οποίο κυμαίνεται από 100-300€ ετησίως και τα οποία θα αναπροσαρμόζονται βάσει ΚΥΑ (ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης σε συνδυασμό με τις εκπεμπόμενες ποσότητες CO₂).

Το ΕΚΠΑΑ καταρτίζει και τηρεί το Μητρώο σύμφωνα με τον Κανονισμό της Επιτροπής 2216/2004 της 21/12/2004 σχετικά με το προς χρήση τυποποιημένο και

ασφαλές σύστημα μητρώων. Ο Κανονισμός καθορίζει τη λειτουργία των Εθνικών Μητρώων και τη σύνδεσή τους με τον κεντρικό διαχειριστή της Ε.Ε. Σε περίπτωση που διαπιστώνεται ατασθαλία απαγορεύεται η καταχώρηση των συναλλαγών αυτών μέχρι την παύσης της.

Τα δικαιώματα ισχύουν για εκπομπές που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (πχ. 2005-2007). Τα δικαιώματα της περιόδου 2005 - 2007 που δεν παραδόθηκαν προς ακύρωση μέχρι 30 Απριλίου 2008 δεν επιτρέπεται να μεταφερθούν στην επόμενη περίοδο 2008-2012. Για τις επόμενες περιόδους τα δικαιώματα θα μπορούν να μεταφέρονται.

Αν ο φορέας εκμετάλλευσης δεν παραδώσει το επόμενο έτος κατάλληλο πλήθος δικαιωμάτων για τις καθ' υπέρβαση εκπομπές, του επιβάλλεται πρόστιμο 40€/t ισοδύναμου CO₂ την περίοδο 2005-2007 και 100€/t ισοδύναμου CO₂ τις επόμενες περιόδους. Η καταβολή του προστίμου δεν αίρει την υποχρέωση του φορέα να παραδώσει δικαιώματα για τις επιπλέον εκπομπές (δηλ. ίσα με την υπέρβαση) το επόμενο ημερολογιακό έτος. Επίσης, τα ονόματα των φορέων εκμετάλλευσης των εγκαταστάσεων στις οποίες παρατηρούνται υπερβάσεις δημοσιοποιούνται από το Γ.Ε.Δ.Ε. Άλλες κυρώσεις όπως πρόστιμο, προσωρινή διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης, επιβάλλονται με απόφαση υπουργού Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. για παραβάσεις των διατάξεων της ΚΥΑ 54409/2632 [11][2].

Η αρχή της διπλής μέτρησης

Τόσο η Οδηγία 2003/87/ΕΚ όσο και η Οδηγία Σύνδεσης επιδιώκουν να απαγορεύσουν τη διπλή μέτρηση υιοθετώντας την αρχή βάσει της οποίας ένας τόνος εκπομπών θα καταλογίζεται μόνο μια φορά και η μείωσή του δεν θα αμοιβεται περισσότερο από μια φορά.

Η αποφυγή της διπλής μέτρησης έχει περιβαλλοντικό και οικονομικό σκεπτικό. Συνεπώς, στον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας, τα δικαιώματα δίνονται στους παραγωγούς (άμεσοι φορείς εκπομπής) και όχι στους βιομηχανικούς ή άλλους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας (έμμεσοι φορείς εκπομπής). Οι τελευταίοι θα πληρώσουν το κόστος των δικαιωμάτων όποτε μεταβιβαστεί στην αλυσίδα προμήθειας σύμφωνα με τους κανόνες της αγοράς. Επίσης, οι παραγωγοί που χρησιμοποιούν πηγές χωρίς άνθρακα (δηλαδή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως τον άνεμο, βιομάζα) δεν θα έχουν καταναμητέα δικαιώματα.

Οι παραγωγοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν εκπέμπουν CO₂ και, συνεπώς, δεν περιλαμβάνονται στο ΣΕΕ. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα επωφεληθούν από το γεγονός ότι κανένα δικαίωμα δεν χρειάζεται να αποκτηθεί και να επιστραφεί, ενώ η ένταξη παραγωγών που χρησιμοποιούν άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο υπονοεί ότι θα πρέπει να έχουν υψηλότερα έξοδα.

Όσον αφορά στην Οδηγία Σύνδεσης, η κύρια συνέπεια είναι ότι τα έργα που έχουν αντίκτυπο σε εγκαταστάσεις καλυπτόμενες από το ΣΕΕ δεν έχουν το δικαίωμα να εγκριθούν ως ΙΙ. Συνεπώς, τα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνουν τη ζήτηση που διαφορετικά θα υπήρχε από τους συμβατικούς παραγωγούς με αποτέλεσμα η ανταμοιβή των πρώτων με δικαιώματα να ισοδυναμεί με διπλή μέτρηση. Υπάρχουν ορισμένες εξαιρέσεις για τα δέκα νέα Κράτη-Μέλη και τις νέες υπό προσχώρηση χώρες όπου καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες να αναπτυχθούν έργα ΙΙ [11].

Κατανομή και Εμπορία Δικαιωμάτων στην Ελλάδα

Η χώρα μας υπέβαλε για έγκριση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) την 1η Σεπτεμβρίου 2006. Το ΕΣΚΔΕ προέβλεπε κατανομή συνολικών δικαιωμάτων στη πενταετία 2008 με 2012 ίση με 377,5 Mt CO₂, με μέση ετήσια κατανομή 75,5 Mt.

Με το ΕΣΚΔΕ 2008-2012 ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής υποχρεούνταν να μειώσει τις εκπομπές CO₂ από τις εγκαταστάσεις του κατά 10,6% σε σχέση με το Σενάριο Αναμενόμενης Εξέλιξης (ΣΑΕ), δηλαδή σε σχέση με τις εκπομπές που θα είχαν οι εγκαταστάσεις αυτές εάν δεν έπαιρναν κάποια μέτρα για την μείωση των εκπομπών. Η μείωση αυτή είναι η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση σε σχέση με τις μειώσεις που υφίστανται, σύμφωνα πάντα με το ΕΣΚΔΕ 2008-2012, όλοι οι κλάδοι που συμμετέχουν στο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (δυλιστήρια, τσιμέντα, χάλυβας κλπ).

Ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής επωμίζεται το μεγαλύτερο βάρος από όλους τους άλλους κλάδους που συμμετέχουν στο ΕΣΚΔΕ 2008-2012 για την μείωση των εκπομπών CO₂ και την επίτευξη των στόχων του Κυότο με την αιτιολογία ότι (α) ο κλάδος αυτός διαθέτει το μεγαλύτερο τεχνολογικό, οικονομικό, κ.λ.π., δυναμικό μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και (β) είναι πολύ λιγότερο εκτεθειμένος στο διεθνή ανταγωνισμό από ό,τι άλλοι κλάδοι (π.χ. τσιμεντοβιομηχανία, δυλιστήρια κ.α.).

Η ΕΕ μείωσε την αρχική κατανομή δικαιωμάτων εκπομπών του υποβληθέντος ΕΣΚΔΕ κατά 8,48% επί της προτεινόμενης ετήσιας κατανομής επιβάλλοντας ανώτατο όριο ετήσιας κατανομής τους 69,1 Mt. Αυτό είχε σαν συνέπεια περαιτέρω μείωση των δικαιωμάτων εκπομπών που αντιστοιχούν στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής. Με βάση πίνακα κατανομής που ανακοίνωσε το ΥΠΕΧΩΔΕ το Φεβρουάριο 2008, στις υφιστάμενες Μονάδες της ΔΕΗ εκχωρούνται 44,3 εκατ. Δικαιώματα εκπομπών ανά έτος για την περίοδο 2008 έως 2012. Ενδεικτικά για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι οι επαληθευμένες μέσες ετήσιες εκπομπές της ΔΕΗ για την περίοδο 2005-2007 ήταν άξεως 52 εκατ. τόνων [3].

Αναθεώρηση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών, (ΕΣΕΕ), Οδηγία 2003/87/ΕΚ.

Η νέα πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την αναθεώρηση της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ περιλαμβάνει τις παρακάτω κύριες αλλαγές:

- Θα υπάρξει ένα και μόνο πανευρωπαϊκό όριο εκπομπών αντί για 27 εθνικά όρια. Το ετήσιο όριο εκπομπών θα μειώνεται γραμμικά και θα συνεχιστεί η μείωσή του και μετά το πέρας της περιόδου 2013-2020.
- Για την ηλεκτροπαραγωγή **απαγορεύεται** η δωρεάν διάθεση δικαιωμάτων και επιβάλλεται η δημοπράτηση των προς κατανομή δικαιωμάτων στο τομέα.
- Οι χώρες θα έχουν επίσης και έναν άλλο δεσμευτικό στόχο μείωσης των εκπομπών για τομείς που δεν συμμετέχουν στο ΕΣΕΕ ο οποίος για την Ελλάδα καθορίστηκε σε 4% το 2020 σε σύγκριση με τις εκπομπές των τομέων αυτών το 2005.

- Δεν θα υπάρχουν πια συγκεκριμένα Εθνικά Σχέδια Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ). Η πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής είναι για ένα και μοναδικό πανευρωπαϊκό όριο δικαιωμάτων βάση εναρμονισμένων κανόνων.
- Εκτίμηση πανευρωπαϊκού ορίου δικαιωμάτων (ETS III, emission cap). Από το 2013 τα προς κατανομή δικαιώματα προβλέπεται να μειώνονται γραμμικά λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο της περιόδου 2008 με 2012.

Η κατανομή δικαιωμάτων στις εμπλεκόμενες στο σύστημα εμπορίας εγκαταστάσεις (ηλεκτροπαραγωγή, διυλιστήρια, τσιμέντα κλπ) πρέπει να είναι κατά 21% χαμηλότερη από τις εκπομπές του 2005 έως το 2020 [4][5][12].

3.6. Κόστος Εκπομπών CO₂

Για τον υπολογισμό του Κόστους Εκπομπών CO₂ η προτεινόμενη από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) μεθοδολογία αναφέρεται στην ενσωμάτωση του κόστους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στις προσφορές έγχυσης που υποβάλλουν οι θερμικές μονάδες παραγωγής στην ημερήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος αυτό θα αποτελεί μια νέα συνιστώσα (παράμετρο) του μεταβλητού κόστους που δηλώνεται από τις μονάδες στο ισχύον πλαίσιο, όπως προβλέπεται στο Άρθρο 44 του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Για το μεταβατικό στάδιο 2008-2012, έχουν κατανεμηθεί στις υπόχρεες εγκαταστάσεις (σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) δωρεάν ετήσια δικαιώματα εκπομπών με βάση το αντίστοιχο Εθνικό Σχέδιο Κατανομής. Κατά τη μεταβατική αυτή περίοδο, το κόστος εκπομπών CO₂ θα αντιπροσωπεύει το κόστος του ελλείμματος που προκύπτει εάν οι προβλεπόμενες ετήσιες εκπομπές μιας μονάδας υπερβούν τα δωρεάν δικαιώματα που της αναλογούν. Επειδή οι προσφορές έγχυσης υποβάλλονται από μονάδες και όχι σταθμούς, προτείνεται η κατανομή των δωρεάν δικαιωμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε σταθμό στις μονάδες που τον συνιστούν, αναλογικά με τις προβλεπόμενες εκπομπές τους. Μετά τη λήξη του μεταβατικού σταδίου, δηλαδή από 1-1-2013, παύουν να υφίστανται δωρεάν δικαιώματα εκπομπών και επομένως, το κόστος εκπομπών CO₂ θα αντιπροσωπεύει το πλήρες κόστος τους.

Και στις δύο περιπτώσεις, η μεθοδολογία είναι ενιαία, με στόχο το μεταβατικό στάδιο να αποτελεί ειδική περίπτωση της πλήρους εφαρμογής. Συνοπτικά, οι ετήσιες προβλεπόμενες εκπομπές CO₂ (το έλλειμμα δικαιωμάτων ή το σύνολο τους, αντιστοίχως) θα αποτιμώνται σε μηνιαία βάση, πολλαπλασιαζόμενες με κατάλληλο δείκτη, που αντανάκλα τη δυναμική των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπών (μέσω του ευρωπαϊκού μηχανισμού εμπορίας δικαιωμάτων, Emissions Trading Scheme). Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας κρίνεται σκόπιμο να μη γίνεται υπολογισμός του κόστους εκπομπών σε μηνιαία βάση αλλά σε ετήσια. Αυτό συμβαίνει προς διευκόλυνση των υπολογισμών.

Το κόστος εκπομπών που προκύπτει διαιρείται με την προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή της μονάδας, καθώς θεωρείται ομοιόμορφο ανά παραγόμενη MWh, για όλα τα επίπεδα ισχύος της συνάρτησης Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου.

Σημειώνεται ότι η προβλεπόμενη παραγωγή της μονάδας απαλείφεται κατά την

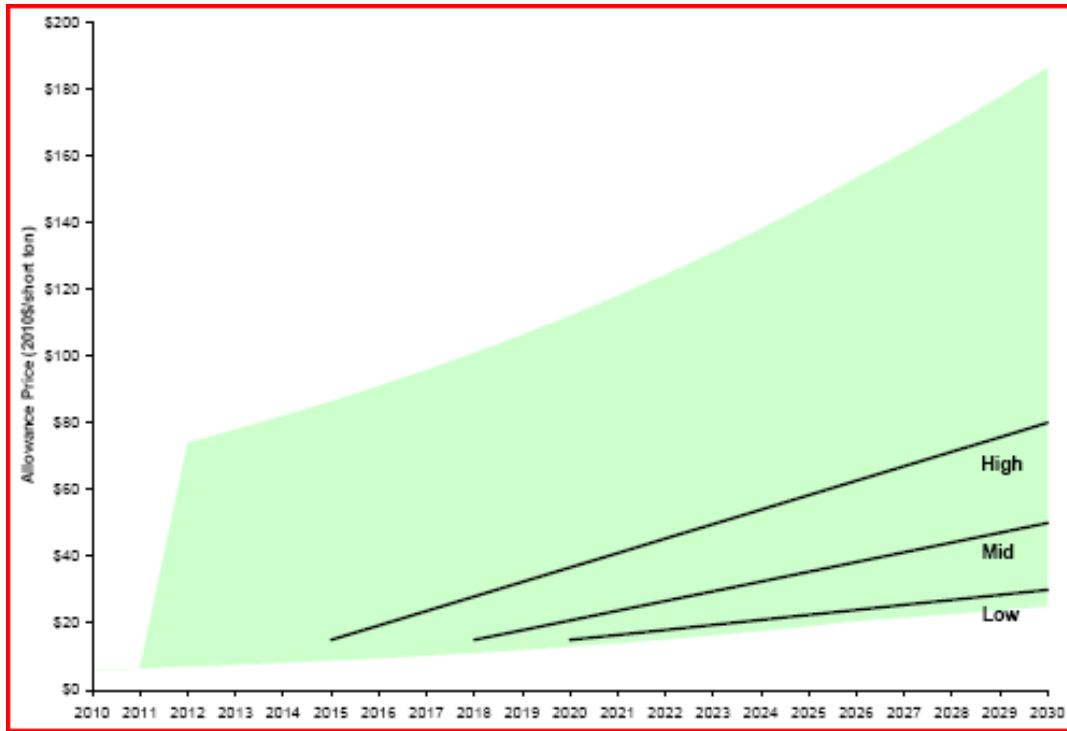
πλήρη εφαρμογή της μεθοδολογίας, όπου ως κρίσιμη παράμετρος αναδεικνύεται μόνο ο συντελεστής εκπομπής CO₂ της μονάδας, προσδίδοντας έτσι περισσότερη διαφάνεια [13].

Η τιμή αγοράς σε ευρώ ενός δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου CO₂ για διάφορες χρονικές περιόδους φαίνεται στο διάγραμμα 3.1. Όπως είναι φανερό η τιμή εμφανίζει μεγάλη διακύμανση χωρίς κάποια σταθερή τάση. Η διακύμανση των τιμών είναι πιο πολύπλοκη από τα στοιχεία για τον όγκο των διαθέσιμων δικαιωμάτων. Οι τιμές κυμαίνονται ανάλογα με την πηγή των τόνων ισοδύναμου CO₂, το τμήμα της αγοράς και τη χώρα. Υπάρχει τεράστια απόκλιση στη δομή και τους όρους των συμβολαίων υπό τους οποίους γίνεται το εμπόριο των τόνων ισοδύναμου CO₂, στοιχεία που έχουν αντίκτυπο στην τιμή. Η τιμή μπορεί επίσης να εξαρτάται από τη χρονιά παραγωγής ή το μελλοντικό έτος με το οποίο συνδέονται οι τόνοι ισοδύναμου CO₂.



Διάγραμμα 3.1: Διακύμανση τιμών δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου CO₂ [14]

Για τον υπολογισμό του κόστους εκπομπής CO₂ θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μελλοντικές προβλέψεις για την κύμανση των τιμών. Τέτοιου είδους προβλέψεις ξεφεύγουν από τα όρια αυτής της διπλωματικής εργασίας και για να αποφευχθούν αβεβαιότητες θα χρησιμοποιήσουμε τις προβλέψεις της συμβουλευτικής εταιρίας Synapse-Energy. Οι προβλέψεις προτείνουν τρία σενάρια για την εξέλιξη των τιμών των δικαιωμάτων όπως αυτά φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα [6].



Διάγραμμα 3.2: Εκτίμηση διακύμανσης τιμών δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου CO₂ [6]

Βιβλιογραφία 3^ο Κεφαλαίου

1. Εφημερίδα της Κυβέρνησης, τεύχος 1^ο, αριθμός φύλλου 117, 30 Μαΐου 2002.
2. Εφημερίδα της Κυβέρνησης, τεύχος 2^ο, αριθμός φύλλου 1931, 27 Δεκεμβρίου 2004.
3. Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την περίοδο 2008 – 2012.
4. Γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής με θέμα: «Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών: “Χάρτης πορείας για τη μετάβαση σε μια ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών το 2050”.
5. Building a low-carbon economy – the UK’s contribution to tackling climate change. Committee on Climate Change (CCC).
6. 2011 Carbon Dioxide Price Forecast. Synapse Energy Economics, Inc.

Internet

6. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. <http://www.cres.gr/>
7. Ευρωπαϊκή Επιτροπή. <http://ec.europa.eu/>
8. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. <http://www.rae.gr/>
9. Bloomberg <http://www.bloomberg.com/>

4. Πυρηνικό Καύσιμο

4.1. Ο Κύκλος του πυρηνικού καυσίμου

Ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων είναι η σειρά των βιομηχανικών διαδικασιών που περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ουράνιο σε πυρηνικούς αντιδραστήρες ισχύος. Το ουράνιο είναι ένα σχετικά κοινό στοιχείο που βρίσκεται σε όλο τον κόσμο. Εξορύσσεται σε πολλές χώρες και πρέπει να υποβάλλεται σε επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε πυρηνικό αντιδραστήρα. Τα καύσιμα που αφαιρούνται από έναν αντιδραστήρα, αφού έχει φτάσει στο τέλος της κατανάλωσής τους, μπορεί να υποστούν επανεπεξεργασία για την παραγωγή νέων καυσίμων. Οι δραστηριότητες που αφορούν στο καύσιμο και συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικές σχάσεις καλούνται *κύκλος του πυρηνικού καυσίμου*. Ο κύκλος του πυρηνικού καυσίμου ξεκινά με την εξόρυξη του ουρανίου και τελειώνει με αποθήκευση των αποβλήτων. Με την επανεπεξεργασία του χρησιμοποιημένου καυσίμου ώστε, μέρος αυτού, να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί κλείνει ο κύκλος.

Ουράνιο

Το ουράνιο είναι ελαφρώς ραδιενεργό μέταλλο που συναντάται σε όλο το φλοιό της Γης. Τα αποθέματά του είναι περίπου 500 φορές πιο πλούσια από το χρυσό και στις ίδιες ποσότητες με εκείνα του κασσίτερου. Βρίσκεται στα περισσότερα εδάφη καθώς και σε πολλά ποτάμια και στο θαλασσίνο νερό. Παραδείγματος χάρη, βρέθηκε σε συγκέντρωση περίπου τέσσερα μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) σε γρανίτη, που αποτελεί το 60% του φλοιού της Γης. Στα λιπάσματα, η συγκέντρωση ουρανίου μπορεί να φτάσει και τα 400 ppm (0,04%) ακόμη μερικά κοιτάσματα άνθρακα περιέχουν ουράνιο σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 ppm (0,01%). Το μεγαλύτερο μέρος της ραδιενέργειας που σχετίζεται με το ουράνιο στη φύση οφείλεται στην πραγματικότητα σε άλλα μέταλλα που προέρχονται από αυτό με ραδιενεργό μεταστοιχείωση και τα οποία παρέμειναν μετά την εξόρυξη και επεξεργασίας.

Υπάρχουν μια σειρά από περιοχές σε όλο τον κόσμο, όπου η συγκέντρωση του ουρανίου στο έδαφος είναι αρκετά υψηλή και η εξαγωγή του για χρήση ως πυρηνικό καύσιμο είναι οικονομικά συμφέρουσα. Τέτοιες συγκεντρώσεις ονομάζονται ουρανιούχα μεταλλεύματα.

Εξόρυξη ουρανίου

Η εξόρυξη μεταλλεύματος ουρανίου γίνεται τόσο με εκσκαφή όσο και με *in situ* τεχνικές. Η εκσκαφή μπορεί να γίνεται σε υπόγεια ή υπαίθρια ορυχεία.

Σε γενικές γραμμές, υπαίθρια ορυχεία έχουμε, όπου τα κοιτάσματα βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια και υπόγεια εξόρυξη χρησιμοποιείται για υπόγεια κοιτάσματα σε βάθος -κατά κανόνα μεγαλύτερο από 120m. Η επιφανειακή εξόρυξη απαιτεί μεγάλες τρύπες στην επιφάνεια, μεγαλύτερες από το μέγεθος του κοιτάσματος, αφού τα τοιχώματα του λάκκου πρέπει να έχουν κλίση για να αποφευχθεί η κατάρρευση. Ως αποτέλεσμα, η ποσότητα του υλικού που πρέπει να αφαιρεθεί, ώστε να έχουμε πρόσβαση στο μετάλλευμα μπορεί να είναι μεγάλη. Τα υπόγεια ορυχεία έχουν

σχετικά μικρή επιφανειακή διαταραχή και η ποσότητα του υλικού που πρέπει να αφαιρεθεί ώστε να υπάρχει πρόσβαση στο μέταλλευμα είναι σημαντικά μικρότερη από ό, τι στην περίπτωση ενός ανοικτού ορυχείου. Ειδικές προφυλάξεις, κυρίως σε αυξημένο εξαερισμό, απαιτούνται σε υπόγεια ορυχεία για την προστασία των εργαζομένων από αερομεταφερόμενη ραδιενεργό σκόνη και ραδόνιο.

Ένα ολοένα αυξανόμενο ποσοστό του ουρανίου στον κόσμο προέρχεται από την *in situ leach* (ISL) εξόρυξη, όπου οξυγονωμένο υπόγειο νερό κυκλοφορεί μέσα από ένα πολύ πορώδες σώμα μεταλλεύματος για να διαλύσει το οξείδιο του ουρανίου και να το φέρει στην επιφάνεια. Η ISL μπορεί να γίνει με ελαφρώς όξινα ή αλκαλικά διαλύματα για να κρατήσει το ουράνιο σε διάλυμα. Το οξείδιο του ουρανίου στη συνέχεια ανακτάται από το διάλυμα, όπως σε ένα συμβατικό εργοστάσιο.

Η απόφαση ως προς το ποιά μέθοδος εξόρυξης θα χρησιμοποιηθεί για ένα συγκεκριμένο κοιτάσμα εξαρτάται από τη φύση του κοιτάσματος, την ασφάλεια που απαιτείται και οικονομικούς λόγους.

Άλεση ουρανίου

Η άλεση, η οποία πραγματοποιείται συνήθως κοντά στο ορυχείο ουρανίου, εξάγει το ουράνιο από το μέταλλευμα. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις εξόρυξης περιλαμβάνουν μύλο, ενώ όταν τα ορυχεία βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ένα εργοστάσιο μπορεί να επεξεργαστεί το μέταλλευμα από διάφορα ορυχεία. Η άλεση παράγει ένα συμπίκνωμα οξειδίου του ουρανίου, που στη συνέχεια μεταφέρεται για περαιτέρω επεξεργασία. Μερικές φορές αναφέρεται ως «yellowcake» και γενικά περιέχει περισσότερο από 80% ουρανίου. Το αρχικό μέταλλευμα μπορεί να περιέχει μόλις 0,1% ουράνιο ή ακόμα λιγότερο.

Σε ένα μύλο άλεσης, το ουράνιο εξάγεται από το θρυμματισμένο και αλεσμένο μέταλλευμα με εκχύλιση κατά την οποία ένα ισχυρό οξύ ή ένα ισχυρό αλκαλικό διάλυμα χρησιμοποιείται για να διαλύσει το οξείδιο του ουρανίου. Το οξείδιο του ουρανίου στη συνέχεια κατακρημνίζεται και απομακρύνεται από το διάλυμα. Μετά την ξήρανση και θέρμανση συνήθως συσκευάζεται σε μεταλλικά δοχεία 200Lt.

Το υπόλοιπο του μεταλλεύματος, που περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της ραδιενέργειας και σχεδόν όλο το πετρώδες υλικό τοποθετείται σε εγκαταστάσεις κοντά στο ορυχείο (συνήα σε εξαντλημένα ορυχεία). Τα απορρίμματα αυτά πρέπει να απομονωθούν από το περιβάλλον, διότι περιέχουν μακρόβια ραδιενεργά υλικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις και τοξικά υλικά όπως τα βαρέα μέταλλα, ωστόσο, η συνολική ποσότητα των ραδιενεργών στοιχείων είναι μικρότερη από το αρχικό μέταλλευμα, και η συνολική τους ραδιενέργεια έχει πολύ μικρότερη διάρκεια ζωής.

Μετατροπή και εμπλουτισμός

Το οξείδιο του ουρανίου που εξέρχεται ως προϊόν από το εργοστάσιο άλεσης, δεν είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμο ως καύσιμο από έναν πυρηνικό αντιδραστήρα και απαιτείται επιπλέον επεξεργασία. Μόνο το 0,7% του φυσικού ουρανίου είναι «σχάσιμο». Το ισότοπο του ουρανίου που είναι σχάσιμο είναι το ουράνιο-235 (U-

235). Το υπόλοιπο είναι το ουράνιο-238 (U-238). Για τα περισσότερα είδη αντιδραστήρων, η συγκέντρωση του σχάσιμου ουρανίου-235 πρέπει να αυξηθεί - συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 3,5% και 5% U-235. Αυτό γίνεται με μια διαδικασία γνωστή ως *εμπλουτισμό*, που απαιτεί το ουράνιο να είναι σε αέρια μορφή. Το συμπυκνωμένο οξείδιο του ουρανίου ως εκ τούτου μετατρέπεται πρώτα σε εξαφθοριούχο ουράνιο, το οποίο είναι αέριο σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες.

Στη μονάδα μετατροπής, το οξείδιο του ουρανίου πρώτα μετατρέπεται σε διοξείδιο του ουρανίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο από τύπους αντιδραστήρων που δεν απαιτούν εμπλουτισμένο ουράνιο. Στη συνέχεια μετατρέπεται σε εξαφθοριούχο ουράνιο, έτοιμο για το εργοστάσιο εμπλουτισμού. Ο κύριος κίνδυνος σε αυτό το στάδιο του κύκλου του καυσίμου είναι η χρήση υδροφθόριο κατά τη διαδικασία μετατροπής. Το εξαφθοριούχο ουράνιο στη συνέχεια διοχετεύεται σε κυλίνδρους 14 τόνων όπου στερεοποιείται υπό υψηλή πίεση. Αυτά τα ισχυρά μεταλλικά δοχεία αποστέλλονται στο εργοστάσιο εμπλουτισμού.

Η διαδικασία εμπλουτισμού χωρίζει το αέριο εξαφθοριούχο ουράνιο σε δύο ροές ρευμάτων: η μια ροή εμπλουτίζεται σε U-235 στο απαιτούμενο επίπεδο (και είναι γνωστό ως χαμηλού βαθμού εμπλουτισμένο ουράνιο), στην άλλη ροή προοδευτικά αφαιρείται U-235 και προκύπτει απεμπλουτισμένο ουράνιο.

Υπάρχουν δύο διαδικασίες εμπλουτισμού σε μεγάλης κλίμακας εμπορική χρήση, κάθε μια από τις οποίες χρησιμοποιεί εξαφθοριούχο ουράνιο με τη μορφή αερίου ως πρώτη ύλη: η διάχυση και η φυγοκέντρωση. Αυτές οι διαδικασίες χρησιμοποιούν για το διαχωρισμό του U-235 από το U-238, τη διαφορά μάζας κατά 1% μεταξύ των πυρήνων των δύο ισοτόπων. Οι τελευταίες μονάδες εμπλουτισμού με διάχυση αναμένεται να καταργηθούν σταδιακά μέχρι το 2013.

Το προϊόν αυτής της φάσης του κύκλου του πυρηνικού καυσίμου είναι το εμπλουτισμένο εξαφθοριούχο ουράνιο το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή εμπλουτισμένου οξειδίου του ουρανίου.

Κατασκευή ράβδων πυρηνικού καυσίμου

Το καύσιμο του αντιδραστήρα έχει συνήθως τη μορφή μεταλλικών σφαιριδίων με μεταλλική μορφή (pellets). Αυτά δημιουργούνται από πεπιεσμένο οξείδιο του ουρανίου (UO₂), το οποίο συσσωματώνεται (ψήνεται) σε υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 1400°C). Τα σφαιρίδια στη συνέχεια, κλείνονται ερμητικά σε μεταλλικούς σωλήνες για να σχηματίσουν ράβδους καυσίμου, οι οποίες συγκροτούνται σε διατάξεις έτοιμες για εισαγωγή στον αντιδραστήρα. Οι διαστάσεις των σφαιριδίων και των άλλων συστατικών στοιχείων της διάταξης των καυσίμων ελέγχονται σχολαστικά για να εξασφαλιστεί η σωστή συναρμογή τους.

Στο εργοστάσιο κατασκευής πυρηνικών καυσίμων ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στο μέγεθος και το σχήμα των δοχείων που γίνεται η επεξεργασία του καυσίμου για την αποφυγή της κρισιμότητας (μια αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση που

απελευθερώνει ακτινοβολία) σε αυτά. Με χαμηλού εμπλουτισμού καύσιμα η κρισιμότητα είναι απίθανη, αλλά σε μονάδες οι οποίες χειρίζονται ειδικά καύσιμα για τους ερευνητικούς αντιδραστήρες αυτή είναι μια ζωτικής σημασίας ελεγχόμενη παράμετρος.

Παραγωγή ενέργειας και κατανάλωση καυσίμου

Όπως περιγράψαμε στο Κεφάλαιο-2, μέσα σε ένα πυρηνικό αντιδραστήρα ο πυρήνας του ατόμου του U-235 διασπάται (σχάζεται) και, στο πλαίσιο της διαδικασίας αυτής, απελευθερώνει ενέργεια. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για να θερμάνει νερό και να το μετατρέψει σε ατμό. Ο ατμός χρησιμοποιείται για να κινήσει έναν στρόβιλο που συνδέονται με μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό. Μερικοί από τους πυρήνες του ισότοπου U-238 του καυσίμου, στον πυρήνα του αντιδραστήρα, μετατρέπονται με πρόσληψη νετρονίου σε Pu-239. Το ενλόγω ισότοπο του πλουτωνίου είναι επίσης σχάσιμο και αποδίδει περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας σε έναν τυπικό πυρηνικό αντιδραστήρα. Η σχάση του ουρανίου (και του πλουτωνίου που παράγεται) χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας σε ένα σταθμό πυρηνικής ενέργειας με τον ίδιο τρόπο που η καύση του άνθρακα, αερίου ή του πετρελαίου που χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας σε εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα .

Συνήθως, περίπου 44 εκατομμύρια κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται από έναν τόνο φυσικού ουρανίου. Η παραγωγή αυτής της ποσότητας ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα θα απαιτούσε την καύση άνω των 20.000 τόνων άνθρακα ή 8,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου.

Ένα θέμα κατά τη λειτουργία του αντιδραστήρα είναι η απόδοση του καυσίμου. Αυτή μετριέται σε gigawatt-days (GWD/t) ανά τόνο και είναι ανάλογη με το επίπεδο εμπλουτισμού. Μέχρι σήμερα, ένας περιοριστικός παράγοντας ήταν η αντοχή των διατάξεων καυσίμου, και ως εκ τούτου η απόδοση του καυσίμου κυμαινόταν περίπου σε 40 GWD/t, για περίπου 4% βαθμό εμπλουτισμού. Αλλά με τη βελτίωση του εξοπλισμού και των διατάξεων καυσίμων, 55 GWD/t απόδοση είναι δυνατή (με 5% εμπλουτισμό), και 70 GWD/t μπορεί να επιτευχθεί στο μέλλον, αν και αυτό θα απαιτήσει 6% εμπλουτισμό. Το όφελος από αυτό είναι ότι οι κύκλοι λειτουργίας των εργοστασίων μπορεί να είναι μεγαλύτεροι -περίπου 24 μήνες- βαθμός χρησιμοποίησης καυσίμου να τριπλασθαστεί. Το συσχετιζόμενο, με τον κύκλο ζωής των καυσίμων κόστος αναμένεται να μειωθεί κατά περίπου 20%.

Όπως και στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περίπου τα δύο τρίτα της θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον προκαλώντας θερμική ρύπανση.

Χρησιμοποιημένο καύσιμο

Με την πρόοδο της χρήσης του καυσίμου και της ακτινοβολήσης, η συγκέντρωση προϊόντων σχάσης και βαρέων στοιχείων (που σχηματίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως το πλουτώνιο) στο καύσιμο αυξάνεται σε σημείο όπου δεν είναι πλέον πρακτικό να

συνεχιστεί η χρήση του. Έτσι μετά από 18-36 μήνες χρήσης, το καύσιμο που χρησιμοποιείται αφαιρείται από τον αντιδραστήρα. Το ποσό της ενέργειας που παράγεται από μια διάταξη καυσίμου ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του αντιδραστήρα και την πολιτική του φορέα εκμετάλλευσης του αντιδραστήρα.

Όταν απομακρύνεται από τον αντιδραστήρα, το καύσιμο θα συνεχίσει να εκπέμπει ακτινοβολία, κυρίως από τα προϊόντα σχάσης, αλλά και θερμότητα. Το χρησιμοποιημένο καύσιμο εκφορτώνονται σε μια πισίνα αποθήκευσης ακριβώς δίπλα από τον αντιδραστήρα έως τα επίπεδα ακτινοβολίας και η παραγόμενη θερμότητα που συνεχίζει φθίνοντας εκθετικά (decay heat) να μειωθούν σε κατάλληλα ασφαλή επίπεδα. Στην πισίνα το νερό λειτουργεί ως θώρακας απέναντι στην ακτινοβολία και απάγει τη θερμότητα με ειδικό ψυκτικό σύστημα. Το χρησιμοποιημένο καύσιμο παραμένει σε τέτοιες πισίνες για αρκετά χρόνια. Μπορεί να μεταφερθεί σε φυσικά αεριζόμενο ξηρό αποθηκευτικό στο χώρο on site μετά από περίπου πέντε χρόνια.

Ανάλογα με τη χώρα, το χρησιμοποιημένο καύσιμο μπορεί να μεταφερθεί σε κεντρικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Τελικά, το χρησιμοποιημένο καύσιμο πρέπει είτε να υποστεί επανεπεξεργασία ή να προετοιμαστεί για μόνιμη απόθεση.

Επανεπεξεργασία

Το χρησιμοποιημένο καύσιμο αποτελείται περίπου από 94% U-238, αλλά περιέχει επίσης σχεδόν 1% U-235 που δεν έχει σχασθεί, σχεδόν 1% πλουτώνιο και 4% προϊόντα σχάσης, τα οποία είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά. Σε μια εγκατάσταση επανεπεξεργασίας το χρησιμοποιημένο καύσιμο χωρίζεται σε τρία μέρη: ουράνιο, πλουτώνιο και απόβλητα, τα οποία περιέχουν τα προϊόντα σχάσης. Η επανεπεξεργασία επιτρέπει την ανακύκλωση του ουρανίου και πλουτωνίου σε νέο καύσιμο, και παράγει ένα σημαντικά μειωμένο ποσό των αποβλήτων (σε σύγκριση με το να θεωρήσουμε όλο το χρησιμοποιημένο καύσιμο απόβλητο).

Σύμφωνα με μελέτη της Εταιρίας AREVA[12], περίπου οκτώ διατάξεις επανεπεξεργασμένου καυσίμου μπορούν να αποφέρουν μια διάταξη καυσίμου MOX, τα δύο τρίτα μιας διάταξης καυσίμου εμπλουτισμένου ουρανίου, και περίπου τρεις τόνους απεμπλουτισμένου ουρανίου συν περίπου 150 κιλά αποβλήτων. Αποφεύγεται έτσι η αγορά περίπου 12 τόνων φυσικού ουρανίου από ορυχείο.

Ανακύκλωση ουρανίου και πλουτωνίου

Το ουράνιο που προέρχεται από επανεπεξεργασία, το οποίο συνήθως έχει ελαφρώς υψηλότερη συγκέντρωση U-235 από το φυσικό, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, μετά από μετατροπή και εμπλουτισμό.

Το πλουτώνιο μπορεί να γίνει απευθείας καύσιμο μικτού οξειδίου (MOX), στο οποίο συνδυάζονται οξείδια ουρανίου και πλουτωνίου. Στους αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν καύσιμα MOX, το πλουτώνιο υποκαθιστά το U-235 στο κανονικό καύσιμο από οξειδίου του ουρανίου.

Απόθεση χρησιμοποιημένου καυσίμου

Προς το παρόν, δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις απόθεσης (σε αντίθεση με εγκαταστάσεις αποθήκευσης), σε λειτουργία στις οποίες χρησιμοποιημένο καύσιμο, που δεν προορίζεται για επανεπεξεργασία, και τα απόβλητα από επανεπεξεργασία να μπορούν να τοποθετηθούν. Παρά το γεγονός ότι τα τεχνικά ζητήματα που σχετίζονται με την απόθεση έχουν αντιμετωπιστεί, σήμερα δεν υπάρχει πειστική ανάγκη δημιουργία τέτοιων εγκαταστάσεων, καθώς ο συνολικός όγκος των αποβλήτων αυτών είναι σχετικά μικρός. Επιπλέον, όσο περισσότερο διατηρείται αποθηκευμένο το απόβλητο τόσο πιο εύκολη είναι η μελλοντική διαχείρισή του, λόγω της σταδιακής μείωσης της ραδιενέργειάς του.

Ορισμένες χώρες διεξάγουν μελέτες για να προσδιοριστεί η βέλτιστη προσέγγιση για την απόθεση χρησιμοποιημένου καυσίμου και των αποβλήτων από την επανεπεξεργασία. Γενικά ευνοείται ως λύση η ταφή του σε μεγάλα βάθη στο υπέδαφος όπου και θα σφραγιστεί μόνιμα.

Απόβλητα

Τα απόβλητα από τον κύκλο του πυρηνικού καυσίμου χαρακτηρίζονται ως υψηλής, μέσης ή χαμηλού επιπέδου ακτινοβολίας απόβλητα από το ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Τα απόβλητα αυτά προέρχονται από διάφορες πηγές και περιλαμβάνουν:

- χαμηλού επιπέδου απόβλητα που παράγονται σε όλα τα στάδια του κύκλου του πυρηνικού καυσίμου
- ενδιάμεσου επιπέδου απόβλητα που παράγονται κατά τη λειτουργία του αντιδραστήρα και την επανεπεξεργασία
- αποβλήτα υψηλής ραδιενέργειας, τα οποία είναι τα απόβλητα που περιέχουν τα προϊόντα της σχάσης από επανεπεξεργασία, και σε πολλές χώρες, το ίδιο το χρησιμοποιημένο καύσιμο.

Η διαδικασία εμπλουτισμού οδηγεί στην παραγωγή μεγάλης ποσότητας απεμπλουτισμένου ουρανίου, στο οποίο η συγκέντρωση του U-235 είναι σημαντικά μικρότερη από το 0,7% που βρίσκεται στη φύση. Μικρές ποσότητες του υλικού αυτού, που είναι κυρίως U-238, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υλικό υψηλής πυκνότητας, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών για προστασία από ακτινοβολία, ενώ χρησιμοποιείται και στην παραγωγή του καυσίμου MOX. Αν και το U-238 δεν είναι πολύ ραδιενεργό υλικό ορισμένες προφυλάξεις πρέπει, να λαμβάνονται κατά την αποθήκευση ή διάθεση του [11][1][2][3][4][5].

Αναλογίες υλικών στον κύκλο του πυρηνικού καυσίμου

Τα παρακάτω στοιχεία του Πίνακα 4.1 μπορούν να θεωρηθούν ως τυπικά για την ετήσια λειτουργία πυρηνικού αντιδραστήρα 1000 MWe[11]:

Πίνακας 4.1 Αναλογίες υλικών στον κύκλο του πυρηνικού καυσίμου [11]

Εξόρυξη	Μεταξύ 20.000 με 400.000 τόνους μεταλλεύματος ουρανίου
Άλεση	230 τόνοι συμπυκνώματος οξειδίου του ουρανίου (το οποίο περιέχει 195 τόνους ουρανίου)
Μετατροπή	288 τόνους εξαφθοριούχου ουρανίου, UF ₆ (U 195 τόνοι)
Εμπλουτισμός	35 τόνοι εμπλουτισμένου UF ₆ (που περιέχει 24 τόνους εμπλουτισμένου U)
Κατασκευή καυσίμου	27 τόνοι UO ₂ (με 24 τόνους εμπλουτισμένου U)
Λειτουργία αντιδραστήρα	8760 εκατομμύρια kWh (8,76 TWh) ηλεκτρικής ενέργειας σε πλήρη ισχύ, δηλαδή 22,3 τόνοι φυσικού U ανά TWh
Χρησιμοποιημένο Καύσιμο	27 τόνοι που περιέχουν 240 κιλά transuranics στοιχεία (κυρίως πλουτώνιο), 23 t ουράνιο (0,8% U-235), 1100 κιλά προϊόντα σχάσης.

4.2. Κόστος πυρηνικού καυσίμου

Βασικό πλεονέκτημα της πυρηνικής ενέργειας είναι το χαμηλό κόστος καυσίμου ανά μονάδα παραγόμενης Ηλεκτρικής ισχύος σε σύγκριση με τον άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Το ουράνιο ωστόσο, πρέπει να υποστεί επεξεργασία, να εμπλουτιστεί και να συσκευαστεί σε στοιχεία καυσίμου κατάλληλα για χρήση στον αντιδραστήρα. Περίπου το ήμισυ του κόστους του πυρηνικού καυσίμου οφείλεται στον εμπλουτισμό και την κατασκευή των στοιχείων αυτών. Κατά την εκτίμηση του κόστους της πυρηνικής ενέργειας πρέπει να συμπεριληφθούν έξοδα για τη διαχείριση του ραδιενεργού χρησιμοποιημένου καυσίμου και την τελική απόθεση αυτού ή των αποβλήτων που δίνει. Αλλά ακόμη και με αυτά τα κόστη, το συνολικό κόστος καυσίμου του πυρηνικού σταθμού κυμαίνεται στο ένα τρίτο των μονάδων που καίνε άνθρακα και μεταξύ ενός τετάρτου και το ενός πέμπτου του κόστους φυσικού αερίου για μονάδες συνδυασμένου κύκλου. Το αμερικανικό Ινστιτούτο Πυρηνικής Ενέργειας δείχνει ότι το 78% του κόστους για μονάδες που καίνε άνθρακα αντιστοιχεί στο κόστος καυσίμου και σε μια μονάδα καύσης φυσικού αερίου το αντίστοιχο ποσοστό είναι 89% ενώ σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο είναι περίπου 14%, ή το διπλάσιο αν συμπεριλάβουμε τα κόστη απόθεσης του χρησιμοποιημένου καυσίμου [11].

Τον Μάρτιο του 2011, το κόστος σε US\$ 1 κιλού ουρανίου σε μορφή UO₂ για χρήση ως καύσιμο σε αντιδραστήρα αναλύεται όπως στον Πίνακα 4.2 [11]:

Πίνακας 4.2 Κόστος Επεξεργασίας Πυρηνικού Καυσίμου [11]		
Φυσικό ουράνιο:	8,9 kg U ₃ O ₈ x 146 \$	US\$ 1300
Μετατροπή:	7,5 kg U x 13\$	US \$ 98
Εμπλουτισμός:	7,3 SWU x 155 \$	US \$ 1132
Κατασκευής καυσίμου:	ανά kg	US \$ 240
Συνολικά:		US \$ 2770

Ο πίνακας 4.2 δείχνει ότι το κόστος χρήσης ενός κιλού εμπλουτισμένου ουρανίου είναι 2770\$. Για το φυσικό ουράνιο σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία 7.5kg ουρανίου κοστίζουν 1398\$ και με κόστος κατασκευής καυσίμου 240\$ ανά kg ένα κιλό καυσίμου φυσικού ουρανίου κοστίζει 426,4\$ [11].

Στον πίνακα 4.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμαντική αξία του εμπλουτισμένου και του φυσικού ουρανίου καθώς και η τιμή του ως καύσιμο σε \$/εκατομμύρια Btu.

Πίνακας 4.3 Στοιχεία Καυσίμου Αντιδραστήρα [11]			
Τύπος Καυσίμου	Θερμαντική Αξία	Κόστος	
Φυσικό Ουράνιο	500 GJ/kg	426,4\$/kg	0.8992\$/εκατομμύρια Btu
Ουράνιο εμπλουτισμένο κατά 3,5%	3900 GJ/kg	2770\$/kg	0.7489\$/εκατομμύρια Btu

Όσον αφορά στο κόστος απόθεσης του πυρηνικού καυσίμου ανάλογα με τη χώρα, και το μοντέλλο που αυτή εφαρμόζει, υπάρχουν διαφορές. Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε δύο περιπτώσεις [11]:

- την αμερικάνικη όπου ο παραγωγός χρεώνεται με 0.1 cent/kWh
- την ισπανική όπου ο παραγωγός χρεώνεται με 3 Euro/MWh ή 3,93\$/MWh ή 0,4(≈0,393) cent/kWh.

Βιβλιογραφία 4^ο κεφαλαίου

1. Internationalization of the nuclear fuel Cycle: Goals, strategies, and challenges. THE NATIONAL ACADEMIES PRESS Washington, D.C.
2. Ian Hore-Lacy. Nuclear Electricity, 5th Edition. Uranium Information Center, 1998, ISBN 1-875551-01-8.
3. Kenneth D. Kok. Nuclear Engineering Handbook. Taylor and Francis Group LLC, 2009, ISBN 978-1-4200-5390-6.
4. Uranium production and raw materials for the nuclear fuel cycle — supply and demand, economics, the environment and energy security. IAEA, Vienna, 2006, ISBN 92-0-107206-6.
5. Μ. Γ. Αγγελόπουλος. ‘Πυρηνική Τεχνολογία’.

Internet

10. World Nuclear Association. <http://http://www.world-nuclear.org>
11. AREVA <http://www.areva.com/>

5.Υπολογισμός Κόστους Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στην παρούσα ΔΕ υπολογίζεται το κόστος κατασκευής ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια το κόστος της kWh, που παράγεται από αυτόν. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το Πρόγραμμα ORCOST II το οποίο παραχωρήθηκε από τη NEA-DB του ΟΟΣΑ (OECD) στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (ΕΠΤ-ΕΜΠ) μετά από αίτησή του.

Οι σταθμοί για τους οποίους το πρόγραμμα μπορεί να μας δώσει αποτελέσματα είναι Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί (ΑΗΣ) που χρησιμοποιούν ως καύσιμο άνθρακα (COAL), πετρέλαιο (OIL), φυσικό αέριο (GAS) και πυρηνικό καύσιμο αντιδραστήρων πεπλεγμένου ύδατος (PWR), ζέοντος ύδατος (BWR) και αερίψυκτους (HTGR). Για τους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιείται το προαναφερθέν πρόγραμμα ORCOST II, το οποίο αποτελεί προϊόν του Office of Energy Systems Analysis – Division of Reactor Research and Development of the U.S. Energy Research and Development Administration.

5.1.Περιγραφή Προγράμματος

Το κυρίως πρόγραμμα δεν κάνει το ίδιο τους υπολογισμούς για τα διάφορα κόστη. Η δουλειά του είναι να καλεί τις διάφορες υπορουτίνες του προγράμματος σύμφωνα με την αναλογία δεδομένων-αποτελεσμάτων που κάθε φορά είναι επιθυμητή, όπως αυτή καθορίζεται από τη μεταβλητή IWANT. Η μεταβλητή αυτή, που περιγράφεται παρακάτω, καθορίζει την ποσότητα και τον τύπο δεδομένων που εισάγουμε καθώς και το πλήθος των αποτελεσμάτων που επιθυμούμε.

Σε κάθε περίπτωση το κυρίως πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα ORCOST. Όλοι οι υπολογισμοί για το επενδυτικό κεφάλαιο γίνονται σε αυτή την υπορουτίνα εκτός και αν επιθυμούμε να το εισάγουμε ως δεδομένο. Αν, με την κατάλληλη IWANT επιλογή, ζητάμε τον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας και συντήρησης του εργοστασίου τότε το κυρίως πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα OANDM. Επιπλέον αν ζητείται ανοιγμένη σταθερή χρέωση τότε καλείται επιπλέον και η υπορουτίνα FCRATE. Ακόμα, το κυρίως πρόγραμμα καλεί το entry point ORCOS2, της υπορουτίνας ORCOST, σε περίπτωση που ζητούνται περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με το επενδυτικό κεφάλαιο. Τέλος, όταν θέλουμε στοιχεία πέραν του επενδυτικού κεφαλαίου, το κυρίως πρόγραμμα καλεί το entry point DISC της υπορουτίνας FCRATE. Στο DISC γίνονται υπολογισμοί για το ανοιγμένο κόστος και δίνονται αποτελέσματα για τα ετήσια κόστη καθώς και η παρούσα αξία αυτών.

5.2.Αλλαγές Προγράμματος

Για να γίνει εκτελέσιμο το πρόγραμμα σε FORTRAN Power Station που τρέχει σε Η/Υ τύπου PC του ΕΠΤ-ΕΜΠ προχωρήσαμε σε αλλαγές στον πηγαίο (source) κώδικά του. Αναλυτικά οι αλλαγές αυτές παρουσιάζονται στο **Παράρτημα 2**. Οι αλλαγές αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Η πρώτη αφορά διορθώσεις ώστε το πρόγραμμα να είναι εκτελέσιμο στην προαναφερθείσα έκδοση FORTRAN. Αυτές περιλαμβάνουν απλές αλλαγές όπως:
 - Τη διαγραφή του C στην πρώτη γραμμή του κώδικα, την προσθήκη ‘(ή ‘,’ όπου χρειαζόταν και την ορθότερη διατύπωση εντολών όπως η GOTO.
 - Επιπλέον, έγινε δήλωση των μεταβλητών T,TT,TITLE1,TITLE2,MLFIX και MLVAR.
 - Επίσης, άλλαξαν οι ονομασίες:

Των υπορουτινών \$LWR σε LLWR

\$HTGR σε LHTGR

\$COAL σε LCOAL

\$OIL σε LOIL

\$GAS σε LGAS

γιατί το σύμβολο ‘\$’ δεν επιτρεπόταν να περιέχεται σε ονομασία υπορουτίνας.

Της μεταβλητής TYPE (στις υπορουτίνες OANDM, LLWR, LHTGR, LCOAL, LOIL, LGAS) σε T (ονομασία που έχει και στο υπόλοιπο πρόγραμμα).

- Ακόμη παραλήφθηκαν (χωρίς να επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα) οι εντολές IDAY και TIME οι οποίες δίνουν την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα και δεν περιλαμβάνονται στην έκδοση της παρούσας ΔΕ. Τέλος η εντολή ICOMP (που συγκρίνει δύο γραμματοσειρές) αντικαθίσταται από την INDEX (που κάνει ακριβώς την ίδια λειτουργία).
- Η δεύτερη περιλαμβάνει την παράλειψη των ENTRY POINTS (ORCOS2, DISC, OANDM2) που χρησιμοποιούνται για την παράλειψη κάποιων υπολογισμών σε περίπτωση που επιθυμούμε λιγότερα δεδομένα. Τα ENTRY POINTS δημιουργούσαν προβλήματα στην εκτέλεση του προγράμματος καθώς δεν επέτρεπαν τη διατήρηση των τιμών κάποιων μεταβλητών. Δεδομένου ότι εμείς δεν θέλουμε να παραλείψουμε αποτελέσματα, τα ENTRY POINTS αυτά παραλήφθηκαν.
- Τέλος η τρίτη κατηγορία αφορά τον τρόπο εισόδου και εξόδου δεδομένων. Το πρόγραμμα δεχόταν δεδομένα από το πληκτρολόγιο και τα τύπωνε στην οθόνη. Εμείς θέλαμε, το πρόγραμμα, να διαβάζει δεδομένα από αρχείο έτσι δημιουργήσαμε τα αρχεία δεδομένων CASE1, CASE2, CASE3, CASE4, CASE5 τα οποία διαβάζει το

πρόγραμμα. Τα δεδομένα της ομάδας DATA1 χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες (καθώς είναι πάρα πολλά για να υποστηριχθούν από μια εντολή FORMAT) και περιλαμβάνονται στα αρχεία CASE1, CASE2, CASE3 ενώ των DATA2 και DATAOM στα αρχεία CASE4 και CASE5 αντίστοιχα. Ακόμη δημιουργείται το αρχείο DATAFIL.TXT στο οποίο γίνονται όλες οι εκτυπώσεις του προγράμματος.

5.3. Δεδομένα του Προγράμματος

Η εισαγωγή δεδομένων από το χρήστη στο πρόγραμμα γίνεται σε διαφορετικά σημεία του προγράμματος μέσω τριών αρχείων δεδομένων. Η πρώτη ομάδα δεδομένων, DATA1, διαβάζεται στην υπορουτίνα ORCOST, η δεύτερη, DATA2, στην υπορουτίνα CALC και η τρίτη, DATAOM, στην υπορουτίνα OANDM. Η DATA1 διαβάζεται πάντα και περιέχει δεδομένα για τον υπολογισμό του επενδυτικού κεφαλαίου, την ανοιγμένη σταθερή χρέωση και τα υπόλοιπα ανοιγμένα κόστη. Η DATA2 καλείται όταν θέλουμε να αλλάξουμε τα δεδομένα του μοντέλου βάσης για τον υπολογισμό του επενδυτικού κεφαλαίου. Η ομάδα δεδομένων DATAOM περιέχει κυρίως ποσοστά κλιμάκωσης για διάφορα κόστη ωστόσο τα δεδομένα και των δύο τελευταίων ομάδων έχουν παραμετροποιηθεί.

Παρακάτω παρουσιάζονται, στο σύνολό τους, τα δεδομένα του προγράμματος καθώς και οι προτεινόμενες τιμές τους για τις ανάγκες της παρούσας ΔΕ.

DATA1

TITLE1, Χρησιμοποιούνται για σχολιασμό ή ως τίτλος για τις

TITLE2: διάφορες περιπτώσεις που τρέχουμε. Μπορούν να λάβουν μέχρι 48 χαρακτήρες.

IWANT: Η μεταβλητή αυτή μας επιτρέπει να ελέγχουμε την ποσότητα των δεδομένων που εισάγουμε και την ποσότητα των δεδομένων που λαμβάνουμε.

Αν η IWANT τεθεί 1, το πρόγραμμα θα υπολογίσει μόνο το επενδυτικό κεφάλαιο και δε θα δώσει άλλα αποτελέσματα.

Αν η IWANT τεθεί 2, θα υπολογιστεί το επενδυτικό κεφάλαιο, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και τα ανοιγμένα ετήσια κόστη.

Αν η IWANT τεθεί 3, το πρόγραμμα θα υπολογίσει το επενδυτικό κεφάλαιο, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και τη σταθερή χρέωση της ενέργειας. Αυτή η επιλογή

αποδίδει την πλέον αποδοτική αναλογία δεδομένων-αποτελεσμάτων με τις λιγότερες απαιτούμενες πληροφορίες από τον χρήστη.

Αν η IWANT τεθεί 4, το επενδυτικό κεφάλαιο θα πρέπει να δοθεί από τον χρήστη. Το πρόγραμμα υπολογίζει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αλλά δεν τυπώνεται η ανάλυσή του. Τα ανοιγμένα κόστη ενέργειας και οι σταθερές χρεώσεις δίδονται. Οι ετήσιες ταμειακές ροές, οι σωρευτικές ταμειακές ροές και οι προεξοφλημένες ταμειακές ροές δεν δίδονται.

Αν η IWANT τεθεί 5, το επενδυτικό κεφάλαιο θα πρέπει να δοθεί από τον χρήστη. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν τα ανοιγμένα κόστη ενέργειας, τις σταθερές χρεώσεις, τις ταμειακές ροές, τις σωρευτικές ταμειακές ροές και τις προεξοφλημένες ταμειακές ροές.

Αν η IWANT τεθεί 6, η σταθερή χρέωση θα πρέπει να δοθεί από τον χρήστη. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν το επενδυτικό κεφάλαιο, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και τα ανοιγμένα κόστη ενέργειας. Αν δε δοθεί η σταθερή χρέωση, το πρόγραμμα θα τερματίσει αφού τυπώσει το επενδυτικό κεφάλαιο και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Αν η IWANT τεθεί 7, η σταθερή χρέωση και το επενδυτικό κεφάλαιο θα πρέπει να δοθεί από τον χρήστη. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν μόνο τα ανοιγμένα κόστη ενέργειας. Αν δε δοθεί η σταθερή χρέωση και το επενδυτικό κεφάλαιο το πρόγραμμα θα τερματίσει αφού τυπώσει δύο σελίδες με τα δεδομένα όπου η σταθερή χρέωση θα είναι άγνωστη και το επενδυτικό κεφάλαιο θα είναι 0.

IN: Παίρνει τιμές από το 1 έως το 21, αντιστοιχεί στις πόλεις του Πίνακα 5.1 και καθορίζει κόστη που εξαρτώνται από την τοποθεσία του εργοστασίου. Στη δική μας περίπτωση δεν έχουμε τέτοια στοιχεία για την Ελλάδα και έτσι χρησιμοποιούμε την πόλη αναφοράς Middletown.

Πίνακας 5.1

IN	Όνομα Πόλης	Μεταβλητές		
		Δείκτης κόστους εξοπλισμού A(IN,1)	Δείκτης κόστους υλικών A(IN,2)	Δείκτης κόστους εργασίας A(IN,3)
1	Atlanta	1,0	0,850	0,851
2	Baltimore	1,0	0,857	0,808
3	Birmingham	1,0	0,776	0,720
4	Boston	1,0	0,967	0,940
5	Chicago	1,0	0,883	0,961
6	Cincinnati	1,0	0,840	1,005
7	Cleveland	1,0	0,857	1,039
8	Dallas	1,0	0,781	0,764
9	Denver	1,0	0,838	0,809
10	Detroit	1,0	0,896	1,095
11	Kansas City	1,0	0,954	0,955
12	Los Angeles	1,0	0,814	1,050
13	Minneapolis	1,0	0,907	0,909
14	New Orleans	1,0	0,805	0,781
15	New York	1,0	0,957	1,195
16	Philadelphia	1,0	0,806	0,968
17	Pittsburgh	1,0	0,947	0,931
18	St. Louis	1,0	0,793	0,989
19	San Francisco	1,0	0,827	1,122
20	Seattle	1,0	0,839	0,860
21	Middletown	1,0	1,0	1,0

Επεξηγήσεις συμβόλων του Πίνακα:

IT: Με αυτή τη μεταβλητή μπορούμε να αλλάξουμε το όνομα τις πόλης που εξετάζουμε ανεξαρτήτως της τιμής IN. Δεν επηρεάζουμε καθόλου τους υπολογισμούς.

S: Αντιστοιχεί στο μέγεθος του εργοστασίου σε MWe. Λαμβάνει τιμές από 400 έως 2000. Ωστόσο για τιμές εκτός του εύρους 500-1500 τα αποτελέσματα δεν είναι αξιόπιστα όπως αναφέρεται στο συνοδευτικό εγχειρίδιο του προγράμματος.

T: Καθορίζει τον τύπο του εργοστασίου και αποτελείται από 4 χαρακτήρες και οποιαδήποτε τιμή εκτός αυτών του παρακάτω πίνακα οδηγεί σε εσφαλμένο τερματισμό του προγράμματος.

Πίνακας 5.2

T	Τύπος Εργοστασίου
PWR	Πυρηνικό με αντιδραστήρα πεπιεσμένου ύδατος
BWR	Πυρηνικό με αντιδραστήρα ζέοντος ύδατος
HTGR	Πυρηνικό με αντιδραστήρα αερόψυκτο
COAL	Θερμοηλεκτρικό με καύσιμο άνθρακα
OIL	Θερμοηλεκτρικό με καύσιμο πετρέλαιο
GAS	Θερμοηλεκτρικό με καύσιμο φυσικό αέριο

Το πρόγραμμα περιέχει δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους των υλικών, εξοπλισμού και εργασίας τα οποία αναφέρονται στο έτος βάσης 1971(YB). Για να ανάγει τα αυτά δεδομένα στο έτος λειτουργίας χρησιμοποιεί ποσοστά κλιμάκωσης. Τα ποσοστά αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τα EREB,ERMB και ERLB εκφράζουν το ρυθμό μεταβολής των τιμών του κόστους των υλικών, εξοπλισμού και εργασίας από το έτος βάσης (YB) στο έτος βάσης για την κλιμάκωση τιμών (YBX).
- Τα ERE, ERM και ERL που εκφράζουν το ρυθμό μεταβολής των τιμών του κόστους των υλικών, εξοπλισμού και εργασίας από το έτος βάση για την κλιμάκωση τιμών (YBX) στο έτος έναρξης των εργασιών κατασκευής (YS).
- Το ESX που εκφράζει τη μεταβολή της τιμής του κόστους των υλικών, εξοπλισμού και εργασίας από το έτος έναρξης των εργασιών κατασκευής (YS) στο έτος έναρξης τις λειτουργίας του εργοστασίου (YO).

Στην παρούσα ΔΕ διατηρούμε τα προεπιλεγμένα δεδομένα του προγράμματος για τον υπολογισμό του κόστους των υλικών και εξοπλισμού έτσι δεν αλλάζουμε τα ERE, ERM, EREB και ERMB. Αντίθετα το κόστος της εργατοώρας και το ποσοστό κλιμάκωσης αυτής το λαμβάνουμε από τη συλλογική σύμβαση εργασίας για το 2011[4][3][12]. Το αρχικό ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους εργασίας (ERLB) 0% - για να αποφύγουμε κλιμάκωση από το 1971 αφού η τιμή είναι του 2011 - και ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους εργασίας (ERL) 2,7 σύμφωνα με συλλογική σύμβαση εργασίας για το 2011 για τις περαιτέρω αναγωγές.

YBX: Έτος βάση για την κλιμάκωση τιμών. Το θέτουμε ίσο με το έτος έναρξης των εργασιών κατασκευής.

YS: Έτος έναρξης των εργασιών κατασκευής. Είναι ίσο με το έτος έναρξης τις λειτουργίας του εργοστασίου μείον το χρόνο κατασκευής του εργοστασίου όπως αυτός λαμβάνεται από η βιβλιογραφία [5].

YO: Έτος έναρξης τις λειτουργίας του εργοστασίου. Θέτουμε για όλες τις περιπτώσεις και τύπους εργοστασίων 2011 ώστε να μπορούν να γίνουν συγκρίσεις.

HW: Διάρκεια της εβδομάδας εργασίας όπως αυτή λαμβάνεται από η βιβλιογραφία [2].

XIR: Ετήσιο τραπεζικό επιτόκιο σε ποσοστό %. Όπως αυτό λήφθηκε από την Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος [11].

EREB: Αρχικό ποσοστό κλιμάκωσης του εξοπλισμού %.

ERMB : Αρχικό ποσοστό κλιμάκωσης των υλικών %.

ERLB: Αρχικό ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους εργασίας %.

ERE: Ποσοστό κλιμάκωσης του εξοπλισμού %.

ERM: Ποσοστό κλιμάκωσης των υλικών %.

ERL: Ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους εργασίας %.

ESX: Συνολικό ποσοστό κλιμάκωσης (ως μέσος όρος των ERE, ERM, ERL) %.

SLPI: Δείκτης παραγωγικότητας. Ο δείκτης αυτός καθορίζει την παραγωγικότητα κατά την κατασκευή του εργοστασίου σε σχέση με το μοντέλο υπολογισμού. Για παράδειγμα αν θέσουμε $SLPI=0,5$ σημαίνει ότι η παραγωγικότητα είναι η μισή από εκείνη που θεωρεί το μοντέλο υπολογισμών οπότε και το εργατικό κόστος κατασκευής είναι το διπλάσιο. Εμείς στη μελέτη μας θεωρούμε την παραγωγικότητα ίση με εκείνη του μοντέλου υπολογισμού οπότε θέτουμε $SPLI=1$.

JFLAG: Η μεταβλητή αυτή λαμβάνει τις τιμές 0 και 1. Αν τεθεί 0 τα δεδομένα DATA2 δεν δίδονται από το χρήστη αλλά χρησιμοποιούνται τα προεπιλεγμένα από το πρόγραμμα. Αν τεθεί 1 τότε αυτά δίδονται από το χρήστη.

KFLAG: Η μεταβλητή αυτή λαμβάνει τις τιμές 0 και 1. Αν τεθεί 0 τα δεδομένα DATAOM δεν δίδονται από το χρήστη αλλά χρησιμοποιούνται τα προεπιλεγμένα από το πρόγραμμα. Αν τεθεί 1 τότε αυτά δίδονται από το χρήστη.

ICT: Η μεταβλητή αυτή καθορίζει το σύστημα ψύξης του εργοστασίου και λαμβάνει τις τιμές 0, 1 ή 2. Για ICT=0 θεωρείται σύστημα ψύξης με νερό ποταμού. Για ICT=1 θεωρείται σύστημα με πύργο ψύξης φυσικής ροής. Για ICT=2 θεωρείται σύστημα με πύργο ψύξης εξαναγκασμένης ροής.

IEC: Η μεταβλητή αυτή καθορίζει τη ύπαρξη συστήματος απομάκρυνσης SO₂. Λαμβάνει τις τιμές 0 ή 1. Αν τεθεί 0 δεν περιλαμβάνεται ενώ για 1 περιλαμβάνεται. Σε περίπτωση που τεθεί 0 για εργοστάσια που δεν χρησιμοποιούν σύστημα απομάκρυνσης SO₂, όπως τα πυρηνικά, το πρόγραμμα αναγνωρίζει το λάθος και δεν το λαμβάνει υπόψη.

PC: Συντελεστής αύξησης του κόστους κατασκευής ανάλογα με το εργοστάσιο και τις εγκαταστάσεις του (συστήματος απομάκρυνσης CO₂, σύστημα ψύξης του εργοστασίου). Τίθεται 0 και υπολογίζεται από το πρόγραμμα.

A(IN,1) : Δείκτης κόστους εξοπλισμού

A(IN,2) : Δείκτης κόστους υλικών

A(IN,3) : Δείκτης κόστους εργασίας

PCF: Αφορά στο συνολικό συντελεστή εκμετάλλευσης της μονάδας. Το πρόγραμμα υπολογίζει μόνο του τον PCF βάση του ετήσιου συντελεστή εκμετάλλευσης και τον χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας και συντήρησης . Μπορούμε ωστόσο να θέσουμε δικό μας PCF μέσα από το αρχείο DATA1.

PCX: Αφορά στον ετήσιο συντελεστή εκμετάλλευσης της μονάδας. Τα δεδομένα για το συντελεστή εκμετάλλευσης της μονάδας λήφθηκαν από το [1].

FC: Αφορά το κόστος καυσίμου σε U.S.cents του \$ / εκατομμύρια Btu. Τα δεδομένα λαμβάνονται από τη βιβλιογραφία και είναι ανοιγμένα σε τιμές του 2011 [I3][I4].

PHR: Η κατανάλωση θερμότητας της κάθε εγκατάστασης σε Btu/kWh. Υπολογίζεται από το πρόγραμμα όταν δώσουμε την τιμή 0.0.

XFBND: Το ποσοστό το αρχικού κεφαλαίου σε ομολογιακό δάνειο, δεκαδικό.

XINB: Το επιτόκιο των ομολόγων, δεκαδικό.

XEQTY: Η απόδοση της επένδυσης, δεκαδικό.

TAU: Ομοσπονδιακός φόρος εισοδήματος, δεκαδικό.

STARAT: Πολιτειακός φόρος εισοδήματος, δεκαδικό.

PROPRT: Φόρος ακίνητης περιουσίας, δεκαδικό.

REPLAC: Βαθμός βραχυπρόθεσμης αντικατάστασης, είναι το ποσοστό επί του κόστους που αφορά τα βραχυπρόθεσμα κόστη ανταλλακτικών, δεκαδικό.

PROPIN: Ποσοστό επί του κόστους για την ασφάλιση της περιουσίας, δεκαδικό.

Για της τιμές των XFBND, XINB, XEQTY, TAU, STARAT, PROPRT, REPLAC, PROPIN χρησιμοποιούμε εκείνες που προτείνονται από το πρόγραμμα. Οι τιμές αυτές αφορούν μια βιομηχανία παραγωγής ενέργειας, την Αμερικάνικη, ιδιωτικοποιημένη και φιλελευθεροποιημένη όπου όλες οι υπό εξέταση τεχνολογίες έχουν εφαρμοστεί. Αποτελεί έτσι μια καλή περίπτωση για την προσέγγιση τις πραγματικότητας χωρίς να επηρεάζει, η επιλογή αυτή, τη συγκριτική μελέτη των διαφόρων περιπτώσεων αφού σε όλες εφαρμόζονται οι ίδιοι περιορισμοί.

XDLIFE: Ο χρόνος στον οποίο επιτυγχάνεται η απόσβεση της επένδυσης [5].

IDEPR: Αφορά στο ρυθμό απόσβεσης της επένδυσης και λαμβάνει τις τιμές 1, 2, 3. Για IDEPR=1 θεωρείται ευθύς ρυθμός απόσβεσης. Για IDEPR=2 ο ρυθμός απόσβεσης υπολογίζεται ως ποσοστό του αθροίσματος των ψηφίων του χρόνου ζωής της εγκατάστασης. Για IDEPR=1 θεωρείται φθίνων ρυθμός απόσβεσης διπλού συντελεστή. Επειδή η παρούσα μελέτη δεν εμβαθύνει στις ροές κεφαλαίων, στις επενδύσεις παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιείται ο απλούστερος ρυθμός απόσβεσης IDEPR=1.

XPLIFE: Διάρκεια ζωής της εγκατάστασης [5].

XIFLT: Ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους λειτουργίας και συντήρησης (%). Λαμβάνεται η προεπιλογή του προγράμματος.

XIFULE: Ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους του καυσίμου (%) [6].

Το πρόγραμμα κατά των υπολογισμό των διαφόρων συνιστωσών κόστους κατασκευής της εγκατάστασης, χωρίζει το άμεσο και το απροσδόκητο κόστος σε 8 λογαριασμούς (21, 22, 23, 24, 25, 26, SO, HR). Ο κάθε ένας λογαριασμός αφορά διαφορετικό τμήμα του κόστους της αρχικής επένδυσης. Έτσι οι λογαριασμοί:

- ο 21, 22, 23, 24, 25, 26 αφορούν κόστη για τα διάφορα τμήματα του σταθμού (ο συντάκτης του προγράμματος δεν αναφέρει σε ποια τμήματα αφορά ο κάθε λογαριασμός).

- ο SO, HR αφορούν τα κόστη των εγκαταστάσεων για αφαίρεσης διοξειδίου του θείου και του συστήματος ψύξης αντίστοιχα.

Για των υπολογισμό των λογαριασμών αυτών χρησιμοποιούνται συντελεστές. Το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα να αλλάξουμε τους συντελεστές αυτούς με τις παρακάτω μεταβλητές. Στην παρούσα εργασία ωστόσο ακολουθείται το προτεινόμενο μοντέλο υπολογισμού και έτσι διατηρούμε τις προεπιλεγμένες τιμές των μεταβλητών.

F21CEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 21.

F21CL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 21.

F21SEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό 21.

F22CEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 22.

F22CL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 22.

F22SEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό 22.

F23CEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 23.

F23CL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 23.

F23SEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό 23.

F24CEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 24.

F24CL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 24.

F24SEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό 24.

F25CEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 25.

F25CL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 25.

F25SEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό 25.

F26CEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 26.

F26CL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό 26.

F26SEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό 26.

FSOCEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

FSOCL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

FSOSEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

FHRCEM: Συντελεστής εξοπλισμού και υλικών έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

FHRCL: Συντελεστής εργασίας έκτακτης ανάγκης για τον λογαριασμό HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

FHRSEM: Συντελεστής ανταλλακτικών εξοπλισμού και υλικών για τον λογαριασμό HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

DATA2

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τα δεδομένα DATA2 για τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής μιας εγκατάστασης αναφοράς. Στη συνέχεια ανάγει το υπολογισθέν κόστος στο κόστος κατασκευής της εγκατάστασης που εξετάζουμε. Χρησιμοποιεί δηλαδή ένα μοντέλο κόστους ως βάση για να προσεγγίσει το ζητούμενο κόστος. Στην παρούσα εργασία δεν αλλάζουμε το βασικό μοντέλο υπολογισμού του κόστους καθώς κάτι τέτοιο θα την έβγαζε εκτός πλαισίων. Διατηρούμε έτσι τις τιμές των μεταβλητών DATA2 όπως αυτές προτείνονται.

CL: Κόστος γης (σε εκατομμύρια \$) που χρειάζεται η εγκατάσταση.

SS: Μέγεθος εγκατάστασης αναφοράς, MWe.

YB: Έτος βάσης.

IB: Αριθμός τοποθεσίας βάσης (με τιμές όπως το IN).

C: Κόστος που αντιστοιχεί στο SS για τους αντίστοιχους λογαριασμούς.

C(1): Λογαριασμός 21

C(2): Λογαριασμός 22

C(3): Λογαριασμός 23

C(4): Λογαριασμός 24

C(5): Λογαριασμός 25

C(6): Λογαριασμός 26

C(7): Λογαριασμός SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

C(8): Λογαριασμός HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

N: Εκθέτης που περιγράφει τη σχέση του C με το SS.

N(1): Λογαριασμός 21

N(2): Λογαριασμός 22

N(3): Λογαριασμός 23

N(4): Λογαριασμός 24

N(5): Λογαριασμός 25

N(6): Λογαριασμός 26

N(7): Λογαριασμός SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

N(8): Λογαριασμός HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

EF: Συντελεστής κατανομής του κόστους εξοπλισμού.

EF(1): Λογαριασμός 21

EF(2): Λογαριασμός 22

EF(3): Λογαριασμός 23

EF(4): Λογαριασμός 24

EF(5): Λογαριασμός 25

EF(6): Λογαριασμός 26

EF(7): Λογαριασμός SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

EF(8): Λογαριασμός HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

MF: Συντελεστής κατανομής του κόστους υλικών.

MF(1): Λογαριασμός 21

MF(2): Λογαριασμός 22

MF(3): Λογαριασμός 23

MF(4): Λογαριασμός 24

MF(5): Λογαριασμός 25

MF(6): Λογαριασμός 26

MF(7): Λογαριασμός SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).

MF(8): Λογαριασμός HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

LF: Συντελεστής κατανομής του κόστους εργασίας.

LF(1): Λογαριασμός 21

LF(2): Λογαριασμός 22

LF(3): Λογαριασμός 23

- LF(4):** Λογαριασμός 24
- LF(5):** Λογαριασμός 25
- LF(6):** Λογαριασμός 26
- LF(7):** Λογαριασμός SO (για το κόστος αφαίρεσης διοξειδίου του θείου).
- LF(8):** Λογαριασμός HR (για το κόστος της εγκατάστασης ψύξης).

F91: Συντελεστής κόστους λογαριασμού 91 που προλαμβάνει τα κόστη κατασκευής προσωρινών εγκαταστάσεων, εξοπλισμού κατασκευής και υπηρεσιών κατασκευής.

F92: Συντελεστής κόστους λογαριασμού 92 που προλαμβάνει τα κόστη μηχανικών και διοίκησης της κατασκευής.

F93: Συντελεστής κόστους λογαριασμού 93 που προλαμβάνει τα κόστη φόρων, ασφάλισης, εκπαίδευσης προσωπικού, εκκίνησης εργοστασίου, καθώς και τα γενικά και διοικητικά κόστη.

DATAOM

WAGERT: Το κόστος της εργατοώρας το 2011 όπως προβλέπει η Εθνική Συλλογική Σύμβαση Εργασίας [4][3][I2] σε δολάρια.

FRINGE: Πρόσθετες παροχές χειριστών ως ποσοστό του μισθού. Διατηρούμε την τιμή που προτείνει το πρόγραμμα.

SUPER: Πρόσθετες παροχές των εργοδηγών και τεχνικών ως ποσοστό του μισθού. Διατηρούμε την τιμή που προτείνει το πρόγραμμα.

BTUCOL: Θερμαντική αξία του άνθρακα σε εκατομμύρια Btu/lb [I3].

BTUBBL: Θερμαντική αξία του πετρελαίου σε εκατομμύρια Btu/bbl [I3].

XLIMS: Τόνοι ασβεστόλιθου ανά τόνο θείου. Η αναλογία που χρησιμοποιείται για την αποθείωση των καυσαερίων [7].

PCTS: Ποσοστό θείου στον άνθρακα (%) [I3].

PCTSUL: Ποσοστό θείου στο πετρέλαιο (%) [I3].

SLURY: Κόστος απομάκρυνσης παραπροϊόντων αποθείωσης σε \$/τόνο. Η βιβλιογραφία προτείνει τρία σενάρια [7].

COSLM: Κόστος ασβεστόλιθου σε \$/τόνο [7].

ESWAGE: Ποσοστό κλιμάκωσης μισθών από το έτος βάσης (1971) έως το έτος έναρξης τη λειτουργίας %/έτος. Το θεωρούμε 0 γιατί οι τιμές είναι σύγχρονες.

ESOIL: Ποσοστό κλιμάκωσης τιμών πετρελαίου από το έτος βάσης (1971) έως το έτος έναρξης τη λειτουργίας %/έτος. Το θεωρούμε 0 γιατί οι τιμές είναι σύγχρονες.

ESSLUR: Ποσοστό κλιμάκωσης κόστους απομάκρυνσης παραπροϊόντων αποθείωσης από το έτος βάσης (1971) έως το έτος έναρξης τη λειτουργίας %/έτος. Το θεωρούμε 0 γιατί οι τιμές είναι σύγχρονες.

ESLIME: Ποσοστό κλιμάκωσης κόστους ασβεστόλιθου από το έτος βάσης (1971) έως το έτος έναρξης τη λειτουργίας %/έτος. Το θεωρούμε 0 γιατί οι τιμές είναι σύγχρονες.

ESCINS: Ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους της ασφάλισης αστικής ευθύνης έναντι καταναλωτών %/έτος. Θεωρούμε εκείνη που προτείνει το πρόγραμμα αφού αναφέρεται σε μια πραγματική αγορά όπως εξηγήθηκε και παραπάνω.

ESGINS: Ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους της ασφάλισης αστικής ευθύνης έναντι του κράτους %/έτος. Θεωρούμε εκείνη που προτείνει το πρόγραμμα αφού αναφέρεται σε μια πραγματική αγορά όπως εξηγήθηκε και παραπάνω.

ESFEES: Ποσοστό κλιμάκωσης των τελών λειτουργίας %/έτος. Θεωρούμε εκείνη που προτείνει το πρόγραμμα αφού χρησιμοποιούμε το δικό του μοντέλο υπολογισμού του κόστους.

ESMALT: Ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους υλικών %/έτος. Θεωρούμε εκείνη που προτείνει το πρόγραμμα αφού χρησιμοποιούμε το δικό του μοντέλο υπολογισμού του κόστους

Ακολουθεί πίνακας που περιέχει το σύνολο των δεδομένων που λαμβάνει το πρόγραμμα.

Πίνακας 5.3 Δεδομένα DATA1						
TITLE1						
TITLE2						
IWANT	3					
TT(21,1)	GREE'					
TT(21,2)	CE '					
TT(21,3)	'					
TT(21,4)	'					
IN	21					
S	500-1500					
T	COAL	OIL	GAS	BWR	PWR	HTGR
YBX	2007	2007	2008	2004	2004	2004
YS	2007	2007	2008	2004	2004	2004
YO	2011	2011	2011	2011	2011	2011
HW	40	40	40	40	40	40
XIR	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
EREB	5	5	5	5	5	5
ERMB	5	5	5	5	5	5
ERLB	0	0	0	0	0	0
ERE	5	5	5	5	5	5
ERM	5	5	5	5	5	5
ERL	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
ESX	0	0	0	0	0	0
SPLI	1	1	1	1	1	1
JFLAG	0	0	0	0	0	0
KFLAG	1	1	1	1	1	1
ICT	1	1	1	1	1	1
IEC	1	1	1	1	1	1
PC	0	0	0	0	0	0
A(IN,1)	1	1	1	1	1	1
A(IN,2)	1	1	1	1	1	1
A(IN,3)	1	1	1	1	1	1
PCF	0,85			0,9		
PCX(1)	0,85			0,9		
PCX(2)	0,85			0,9		
PCX(3)	0,85			0,9		
PCX(4)	0,85			0,9		
PCX(5)	0,85			0,9		
PCX(6)	0,85			0,9		
PCX(7)	0,85			0,9		
PCX(8)	0,85			0,9		
PCX(9)	0,85			0,9		

PCX(10)	0,85				0,9	
PCX(11)	0,85				0,9	
PCX(12)	0,85				0,9	
PCX(13)	0,85				0,9	
PCX(14)	0,85				0,9	
PCX(15)	0,85				0,9	
PCX(16)	0,85				0,9	
PCX(17)	0,85				0,9	
PCX(18)	0,85				0,9	
PCX(19)	0,85				0,9	
PCX(20)	0,85				0,9	
PCX(21)	0,85				0,9	
PCX(22)	0,85				0,9	
PCX(23)	0,85				0,9	
PCX(24)	0,85				0,9	
PCX(25)	0,85				0,9	
PCX(26)	0,85				0,9	
PCX(27)	0,85				0,9	
PCX(28)	0,85				0,9	
PCX(29)	0,85				0,9	
PCX(30)	0,85				0,9	
PCX(31)	0,85				0,9	
PCX(32)	0,85				0,9	
PCX(33)	0,85				0,9	
PCX(34)	0,85				0,9	
PCX(35)	0,85				0,9	
PCX(36)	0,85				0,9	
PCX(37)	0,85				0,9	
PCX(38)	0,85				0,9	
PCX(39)	0,85				0,9	
PCX(40)	0,85				0,9	
PCX(41)	0,85				0,9	
PCX(42)	0,85				0,9	
PCX(43)	0,85				0,9	
PCX(44)	0,85				0,9	
PCX(45)	0,85				0,9	
PCX(46)	0,85				0,9	
PCX(47)	0,85				0,9	
PCX(48)	0,85				0,9	
PCX(49)	0,85				0,9	
PCX(50)	0,85				0,9	
FC	234	984	525	74,89	74,89	89,92
PHR	0	0	0	0	0	0
XFBND	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
XINB	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075

XEQTY	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
TAU	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
STARAT	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
PROPRT	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
REPLAC	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
PROPIN	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
XDLIFE	20	20	20	20	20	20
IDEPR	1	1	1	1	1	1
XPLIFE	40	40	30	40	40	40
XIFLT	0	0	0	0	0	0
XIFULE	2,2	4,3	3,2	0	0	0
F21CEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
F21CL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F21SEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
F22CEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
F22CL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F22SEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
F23CEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
F23CL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F23SEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
F24CEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
F24CL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F24SEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
F25CEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
F25CL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F25SEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
F26CEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
F26CL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F26SEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
FSOCEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
FSOCL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FSOSEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
FHRCEM	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
FHRCL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FHRSEM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Πίνακας 5.4 Δεδομένα DATA2						
CL	1	1	1	1	1	1
SS	1000	1000	1000	1000	1000	1000
YB	1971	1971	1971	1971	1971	1971
IB	21	21	21	21	21	21
C(1)	45,11	45,11	45,11	45,11	45,11	45,11
C(2)	69,54	69,54	69,54	69,54	69,54	69,54
C(3)	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5

C(4)	24,88	24,88	24,88	24,88	24,88	24,88
C(5)	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59
C(6)	0	0	0	0	0	0
C(7)	0	0	0	0	0	0
C(8)	-0,79	-0,79	-0,79	-0,79	-0,79	-0,79
N(1)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
N(2)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
N(3)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
N(4)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
N(5)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
N(6)	0	0	0	0	0	0
N(7)	0	0	0	0	0	0
N(8)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
EF(1)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
EF(2)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
EF(3)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
EF(4)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
EF(5)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
EF(6)	0	0	0	0	0	0
EF(7)	0	0	0	0	0	0
EF(8)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
MF(1)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
MF(2)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
MF(3)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
MF(4)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
MF(5)	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
MF(6)	0	0	0	0	0	0
MF(7)	0	0	0	0	0	0
MF(8)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
LF(1)	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
LF(2)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
LF(3)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
LF(4)	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
LF(5)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
LF(6)	0	0	0	0	0	0
LF(7)	0	0	0	0	0	0
LF(8)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
F91	1	1	1	1	1	1
F92	1	1	1	1	1	1
F93	1	1	1	1	1	1

Πίνακας 5.5 Δεδομένα DATAOM						
WAGERT	44,33					
FRINGE	30	30	30	30	30	30
SUPER	10	10	10	10	10	10
BTUCOL	9.842	9.842	9.842	9.842	9.842	9.842
BTUBBL	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
XLIMS	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
PCTS	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
PCTSUL	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
SLURY	3,3					
COSLM	16,27	16,27	16,27	16,27	16,27	16,27
ESWAGE	0	0	0	0	0	0
ESOIL	0	0	0	0	0	0
ESSLUR	0	0	0	0	0	0
ESLIME	0	0	0	0	0	0
ESCINS	5	5	5	5	5	5
ESGINS	5	5	5	5	5	5
ESFEES	3	3	3	3	3	3
ESMALT	6	6	6	6	6	6

Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται τα δεδομένα που έχουμε αλλάξει στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ, σε σχέση με τα προτεινόμενα από το πρόγραμμα, για την πραγματοποίηση των υπολογισμών μας.

Πίνακας 5.6 Μεταβληθέντα Δεδομένα						
TT(21,1)	GREE'					
TT(21,2)	CE '					
TT(21,3)	'					
TT(21,4)	'					
S	500-1500					
T	COAL	OIL	GAS	BWR	PWR	HTGR
YBX	2007	2007	2008	2004	2004	2004
YS	2007	2007	2008	2004	2004	2004
YO	2011	2011	2011	2011	2011	2011
HW	40	40	40	40	40	40
XIR	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
ERLB	0	0	0	0	0	0
ERL	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
PCF	0,85			0,9		
PCX(1-50)	0,85			0,9		
FC	234	984	525	74,89	74,89	89,92
XDLIFE	20	20	20	20	20	20
XIFULE	2,2	4,3	3,2	0	0	0
XPLIFE	40	40	30	40	40	40

WAGERT	44,33					
BTUCOL	9.842	9.842	9.842	9.842	9.842	9.842
BTUBBL	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
XLIMS	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
PCTS	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
PCTSUL	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
SLURY	3,3					
COSLM	16,27	16,27	16,27	16,27	16,27	16,27
ESWAGE	0	0	0	0	0	0
ESOIL	0	0	0	0	0	0
ESSLUR	0	0	0	0	0	0
ESLIME	0	0	0	0	0	0

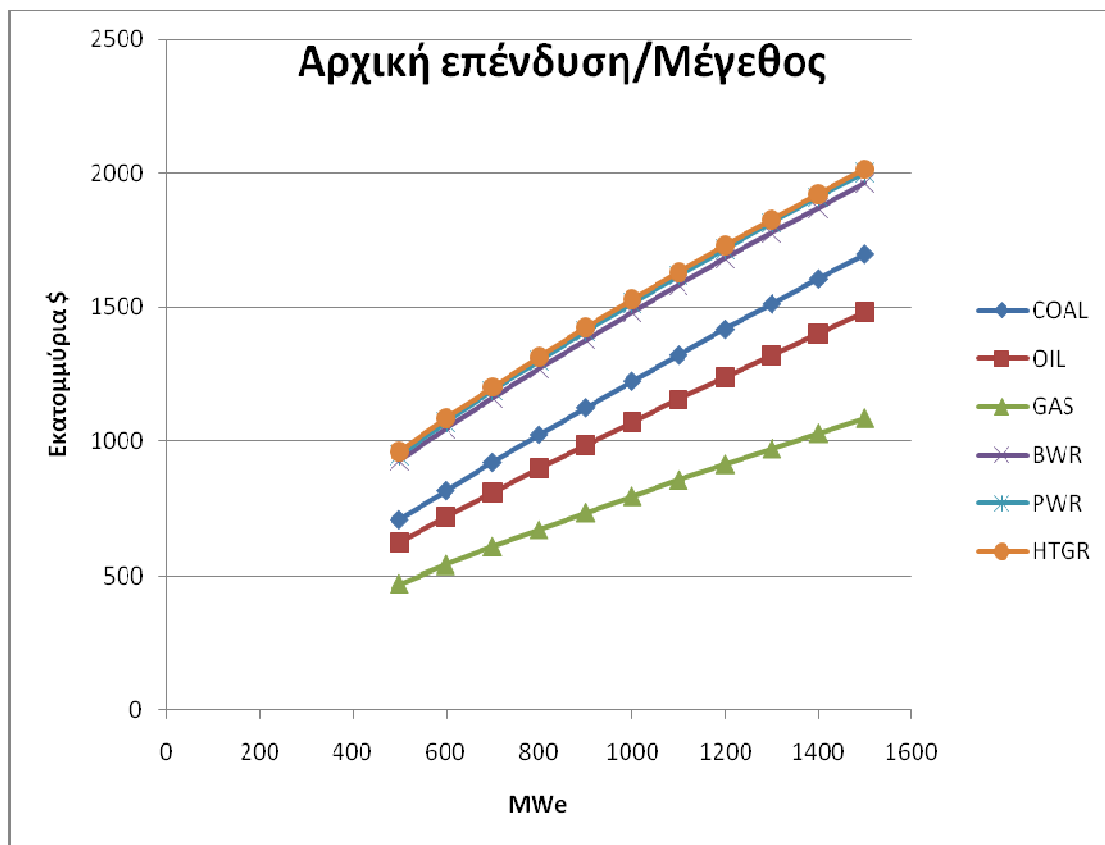
5.4. Αποτελέσματα υπολογισμών

Από τα διάφορα αποτελέσματα, που μας παρέχει το πρόγραμμα σε κάθε εκτέλεσή του, στην παρούσα εργασία μελετάμε το κόστος κατασκευής ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια το κόστος της kWh που παράγεται από αυτόν. Η μελέτη γίνεται για Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ) που χρησιμοποιούν ως καύσιμο άνθρακα (COAL), πετρέλαιο (OIL), φυσικό αέριο (GAS) και πυρηνικό καύσιμο αντιδραστήρων πεπιεσμένου ύδατος (PWR), ζέοντος ύδατος (BWR) και αερίοψυκτους (HTGR). Αφορά εύρος ισχύος από 500 έως 1500 MWe με βήμα 100 MWe. Παρακάτω δίδονται πινακοποιημένες οι παράμετροι που εξετάζουμε. Στο **Παράρτημα 1** παρουσιάζεται το σύνολο των αποτελεσμάτων που παράγει το πρόγραμμα.

Πίνακας 5.6 Αρχική Επένδυση σε εκατομμύρια \$						
	COAL	OIL	GAS	BWR	PWR	HTGR
500	706,3	621,9	470,2	926,0	947,3	961,3
600	815,0	716,3	538,7	1046,8	1070,7	1084,8
700	920,6	808,0	605,0	1162,0	1188,2	1202,3
800	1023,8	897,4	669,6	1272,6	1301,0	1315,0
900	1124,8	984,9	732,5	1379,3	1409,9	1423,6
1000	1223,9	1070,7	794,1	1482,7	1515,4	1528,7
1100	1321,5	1155,1	854,6	1583,3	1617,9	1630,8
1200	1417,6	1238,2	914,0	1681,3	1717,8	1730,2
1300	1512,4	1320,2	972,5	1777,1	1815,4	1827,3
1400	1606	1401,1	1030,1	1870,8	1910,9	1922,3
1500	1698,6	1481,0	1087,0	1962,7	2004,6	2015,3

Πίνακας 5.7 Αρχική Επένδυση σε \$ / KW(E)						
	COAL	OIL	GAS	BWR	PWR	HTGR
500	1412,6	1243,8	940,4	1851,9	1894,6	1922,7
600	1358,3	1193,8	897,9	1744,7	1784,4	1808,0
700	1315,2	1154,2	864,4	1660,0	1697,5	1717,6
800	1279,7	1121,7	836,9	1590,7	1626,3	1643,7
900	1249,7	1094,3	813,9	1532,6	1566,6	1581,8
1000	1223,9	1070,7	794,1	1482,7	1515,4	1528,7
1100	1201,3	1050,1	776,9	1439,3	1470,8	1482,5
1200	1181,3	1031,9	761,7	1401,1	1431,5	1441,9
1300	1163,4	1015,5	748,1	1367,0	1396,5	1405,6
1400	1147,2	1000,8	735,8	1336,3	1365,0	1373,0
1500	1132,4	987,3	724,7	1308,4	1336,4	1343,5

Πίνακας 5.8 Κόστος Ηλεκτρισμού σε MILLS/KWHE						
	COAL	OIL	GAS	BWR	PWR	HTGR
500	93,95	149,16	83,50	67,80	68,63	69,23
600	85,89	143,53	80,64	61,90	62,67	63,18
700	80,04	139,44	78,52	57,53	58,25	58,70
800	78,37	138,93	77,84	56,38	57,07	57,46
900	74,55	136,16	76,43	53,41	54,07	54,41
1000	71,46	133,91	75,26	50,96	51,60	51,41
1100	68,89	132,04	74,28	48,91	49,52	49,81
1200	66,74	130,46	73,45	47,16	47,75	48,01
1300	64,89	129,11	72,73	45,64	46,21	46,45
1400	63,29	127,93	72,10	44,31	44,87	45,09
1500	63,88	127,81	71,95	44,09	44,64	44,84

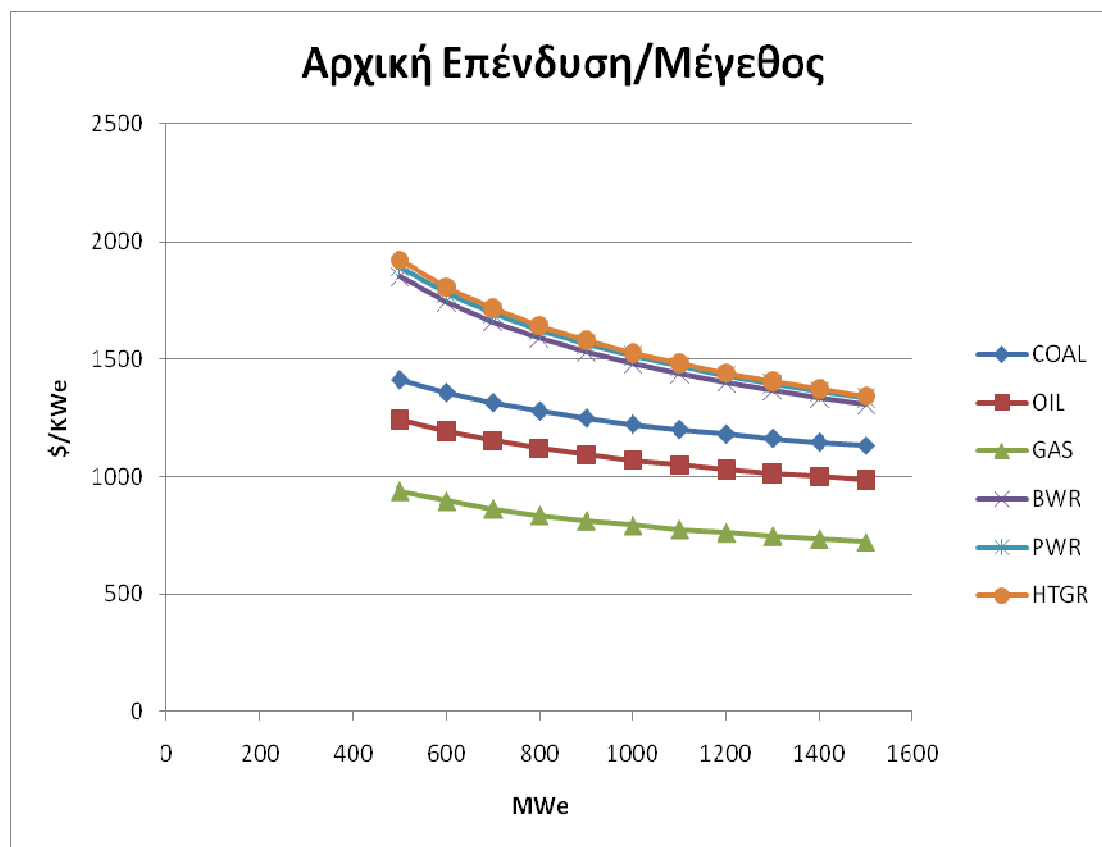


Διάγραμμα 5.1 Αρχική Επένδυση σε εκατομμύρια \$

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 5.1 το κόστος για την κατασκευή των πυρηνικών εργοστασίων είναι αρκετά μεγαλύτερο από εκείνο για τις άλλες εγκαταστάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί στις πυρηνικές εγκαταστάσεις ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κατασκευή είναι η ανάγκη λήψης αυξημένων μέτρων ασφαλείας. Έτσι το κόστος αυξάνεται με κατασκευές όπως ο προστατευτικός θόλος, που περιέχει και τον αντιδραστήρα, καθώς και εφεδρικά συστήματα, ειδικά σε ότι αφορά στην ψύξη του αντιδραστήρα. Παρατηρούμε επίσης ότι τα κόστη κατασκευής και των τριών πυρηνικών εργοστασίων συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό. Αυτό είναι άμεσο αποτέλεσμα της παραπάνω παρατήρησης αφού τα μέτρα ασφαλείας που λαμβάνονται είναι πανομοιότυπα και επηρεάζουν στον ίδιο βαθμό το κόστος. Ακόμη τα πυρηνικά εργοστάσια δε διαφέρουν σημαντικά ως προς τις εγκαταστάσεις τους. Το μικρότερο κόστος του BWR σε σχέση με τους PWR και HTGR έγκειται στο ότι οι δύο τελευταίοι διαθέτουν και δευτερεύον σύστημα για την ψύξη του αντιδραστήρα ενώ ο HTGR είναι ακριβότερος από όλους γιατί, λόγω του ότι είναι αερίψυκτος, χρειάζεται μεγαλύτερη επιφάνεια για την εναλλαγή θερμότητας αυξάνοντας έτσι το κόστος.

Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για το διάγραμμα 5.2 στο οποίο παρουσιάζεται το κόστος κατασκευής του κάθε εργοστασίου ανά εγκατεστημένο KWe. Φαίνεται ότι το κόστος αυτό μειώνεται καθώς αυξάνουμε το μέγεθος του εργοστασίου κάτι που είναι αναμενόμενο λόγω της οικονομίας κλίμακας. Μια παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι τα πυρηνικά εργοστάσια εμφανίζουν πιο έντονο ρυθμό μείωσης του κόστους

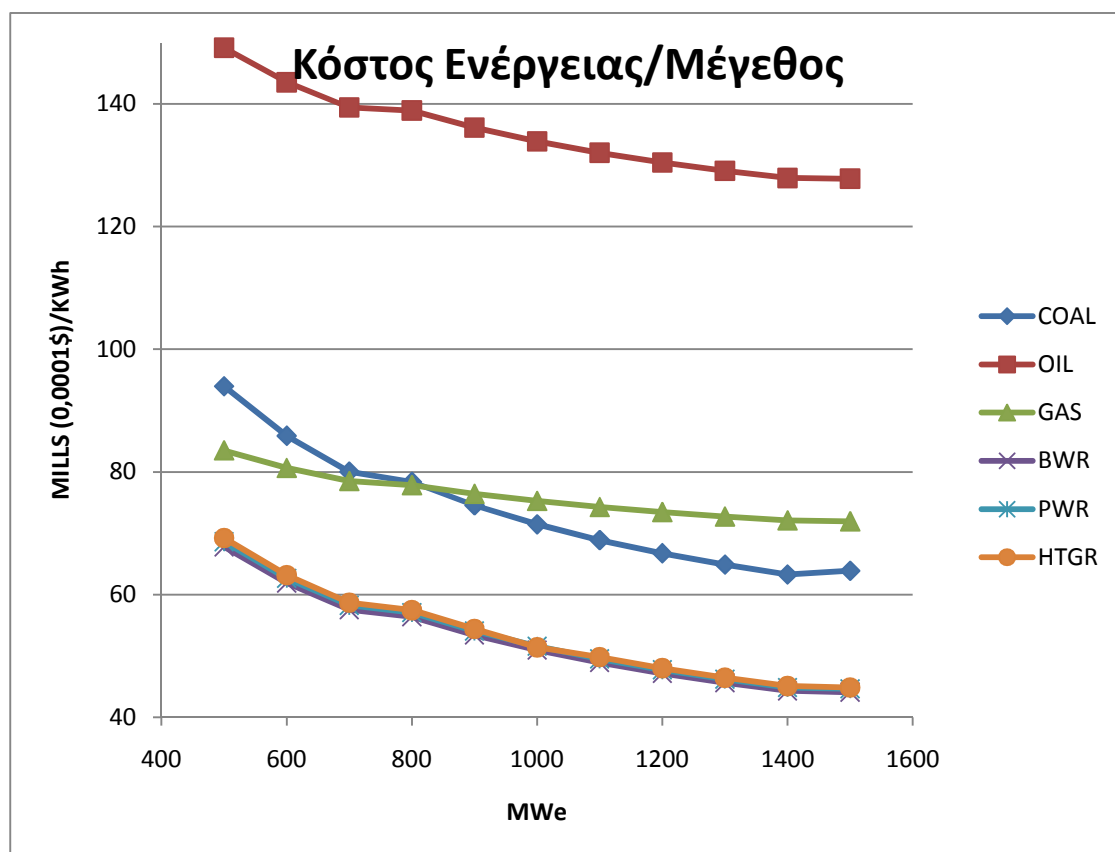
καθώς αυξάνουμε το μέγεθος. Κάτι τέτοιο είναι λογικό και έχει σχέση με την παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου. Τα επιπλέον συστήματα ασφαλείας, που διαθέτουν αυτά τα εργοστάσια, κοστίζουν λιγότερο όταν εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα. Για παράδειγμα το κόστος του προστατευτικού θόλου, που αντιστοιχεί περίπου στο 50% του κόστους κατασκευής των πυρηνικών εργοστασίων, δεν αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς του αντιδραστήρα.



Διάγραμμα 5.2 Αρχική Επένδυση ανά εγκατεστημένο KWe

Το επόμενο διάγραμμα 5.3 είναι και από τα πιο ενδιαφέροντα της μελέτης. Παρουσιάζει το συνολικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας σε mills (χιλιοστά του \$) ανά KWh. Φαίνεται ότι οι πετρελαϊκοί σταθμοί είναι και οι πλέον δαπανηροί κάτι που περιμένουμε δεδομένων των τιμών των καυσίμων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κύμμανση του κόστους ενέργειας των σταθμών που καίνε άνθρακα και φυσικό αέριο. Όπως είδαμε παραπάνω το κόστος κατασκευής του εργοστασίου άνθρακα είναι μεγαλύτερο από εκείνο του φυσικού αερίου. Έτσι το κόστος ενέργειας από φυσικό αέριο είναι μικρότερο από εκείνο του άνθρακα για μικρή εγκατεστημένη ισχύ αφού το κόστος της επένδυσης για κάθε εγκατεστημένο KWe είναι μεγάλο για μικρή ισχύ. Όσο η ισχύς αυξάνει το κόστος αυτό μειώνεται και άλλα κόστη αρχίζουν να επηρεάζουν την τιμή της KWh όπως είναι το κόστος καυσίμου που είναι χαμηλότερο για τον άνθρακα. Έτσι βλέπουμε ότι για ισχύ μεγαλύτερη των 800 MWe ο ανθρακας συμφέρει περισσότερο.

Όσον αφορά στα πυρηνικά εργοστάσια βλέπουμε ότι η τιμή τις ενέργειας κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα και για τα τρία κάτι που αναμέναμε καθώς και το κόστος κτήσης και η τιμή του καυσίμου που χρησιμοποιούν είναι σχεδόν όμοιες. Μια παρατήρηση που πρέπει να γίνει είναι ότι το πρόγραμμα έχει γραφτεί το 1971 κάνει λοιπόν εκτιμήσεις που αντιστοιχούν στις μεθόδους κατασκευής της εποχής εκείνης. Αν και οι μέθοδοι έχουν αλλάξει σε ένα βαθμό για όλα τα εργοστάσια σημαντικές μεταβολές στη φιλοσοφία τους δεν έχουν συμβεί εκτός από τα πυρηνικά. Από το 1971 και μετά έχουν συμβεί μια σειρά ατυχήματα σε πυρηνικά εργοστάσια που έχουν θορυβήσει την κοινή γνώμη και έχουν οδηγήσει σε σημαντική αναβάθμιση των συστημάτων ασφαλείας τους. Το κόστος αυτών των αναβαθμίσεων δεν προσμετράται στα παρατιθέμενα αποτελέσματα και αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη από τον αναγνώστη.



Διάγραμμα 5.3 Συνολικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας σε mills (χιλιοστά του \$) ανά KWh

Όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (3) οι ηλεκτροπαραγωγοί εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι υποχρεωμένοι να διαθέτουν δικαιώματα για την εκπομπή ρύπων (CO₂) που σχετίζονται με τη δραστηριότητά τους. Μέρος των δικαιωμάτων αυτών δίδονται δωρεάν μέχρι το 2012 ενώ τα υπόλοιπα πρέπει να αγοράζονται. Στην παρούσα εργασία, και για τον υπολογισμό της επιρροής των εκπομπών στο κόστος

αγοράς της KWh, θεωρούμε ότι το σύνολο των δικαιωμάτων θα πρέπει να αγοράζεται – λαμβάνοντας υπόψη το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας λειτουργίας των εγκαταστάσεων (από το 2013 και μετά).

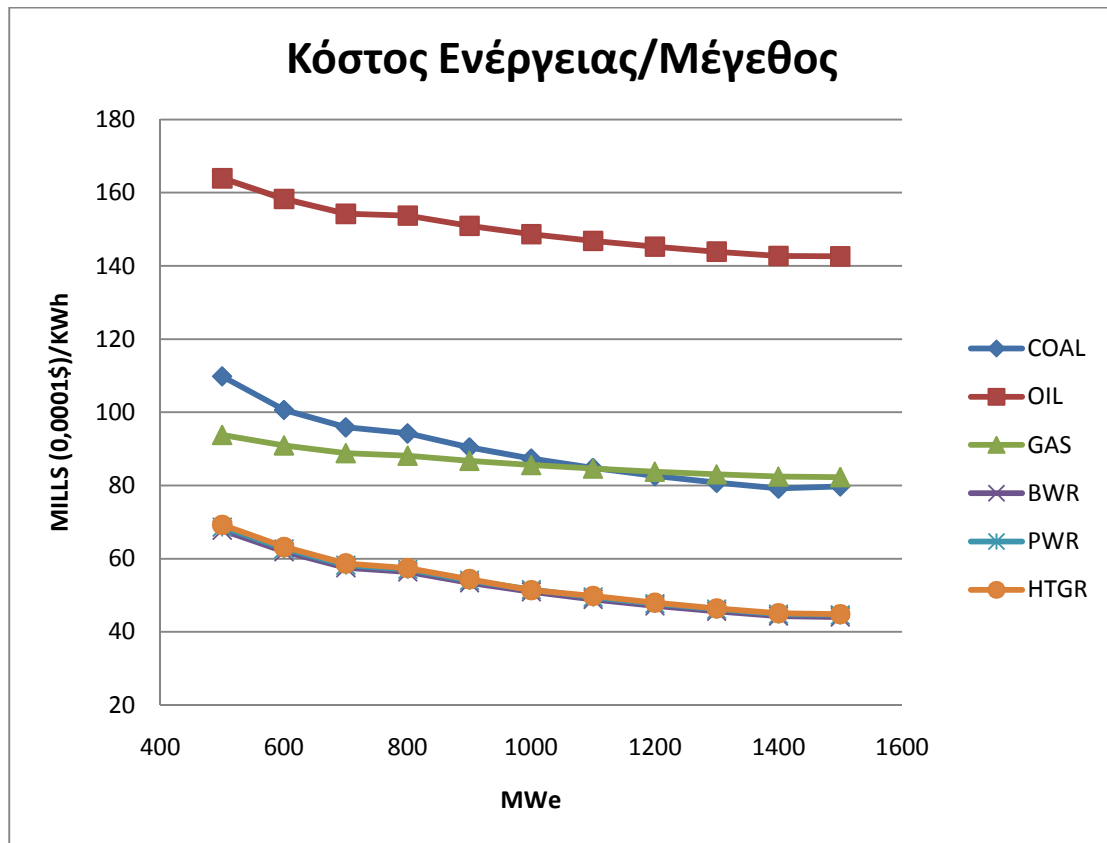
Για να υπολογίσουμε τις εκπομπές CO₂ ανά KWh, για κάθε τύπο καυσίμου, λαμβάνουμε το μέσο όρο για την αμερικάνικη αγορά όπως αυτός δίδεται από τη βιβλιογραφία [8]. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε το μέσο όρο είναι γιατί η μελέτη μας δεν εξειδικεύεται ως προς τις εγκαταστάσεις του κάθε τύπου εργοστασίου, αλλά παρέχει μια γενική εκτίμηση γι' αυτόν. Το κόστος του δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου CO₂ έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και η τιμή του εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και μεταβάλλεται με το χρόνο. Στην προκειμένη περίπτωση λαμβάνουμε την εκτίμηση για τις αρχές εφαρμογής του μέτρου μη απόδοσης δωρεάν δικαιωμάτων όπως αυτή εκτιμάται από τη βιβλιογραφία (15 \$) [9]. Στη συνέχεια ανάγουμε το κόστος του δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου CO₂ σε κόστος για εκπομπές CO₂ ανά KWh. Φυσικά τα καύσιμα τα οποία αφορά η μελέτη είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακες με τα προαναφερθέντα στοιχεία καθώς και το διάγραμμα που προκύπτει.

Πίνακας 5.9 Κόστος εκπομπών CO ₂				
	<i>pounds CO₂ ανά kWh</i>	<i>τόνοι CO₂ ανά kWh</i>	<i>\$/KWh</i>	<i>MILLS/KWh</i>
OIL	1.969	0.000985	0.014775	14.775
GAS	1.378	0.000689	0.010335	10.335
COAL	2.095	0.001059	0.015885	15.885

Πίνακας 5.10 Συνολικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας σε mills (χιλιοστά του \$) ανά KWh. Με υπολογισμό του κόστους εκπομπών.

	COAL	OIL	GAS	BWR	PWR	HTGR
500	109.835	163.935	93.835	67.80	68.63	69.23
600	100.665	158.305	90.975	61.90	62.67	63.18
700	95.925	154.215	88.855	57.53	58.25	58.70
800	94.255	153.705	88.175	56.38	57.07	57.46
900	90.435	150.935	86.765	53.41	54.07	54.41
1000	87.345	148.685	85.595	50.96	51.60	51.41
1100	84.775	146.815	84.615	48.91	49.52	49.81
1200	82.625	145.235	83.785	47.16	47.75	48.01
1300	80.775	143.885	83.065	45.64	46.21	46.45
1400	79.175	142.705	82.435	44.31	44.87	45.09
1500	79.765	142.585	82.285	44.09	44.64	44.84



Διάγραμμα 5.4 Συνολικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας σε mills (χιλιοστά του \$) ανά KWh. Με υπολογισμό του κόστους εκπομπών.

Παρατηρούμε στο Διάγραμμα 5.4 ότι ενώ τα κόστη των πυρηνικών εργοστασίων, όπως αναμένουμε, παραμένουν αμετάβλητα και το κόστος του πετρελαϊκού εργοστασίου παραμένει σταθερά υψηλό, μια ενδιαφέρουσα μεταβολή παρουσιάζεται μεταξύ του άνθρακα και του φυσικού αερίου. Βλέπουμε λοιπόν ότι όταν δεν υπολογίζεται το κόστος εκπομπών ο άνθρακας συμφέρει ως καύσιμο, σε σχέση με το φυσικό αέριο, για εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 800 Mwe. Ωστόσο, λόγω του ότι ο άνθρακας είναι πιο ρυπογόνος από το φυσικό αέριο, όταν υπολογίζεται το κόστος εκπομπών τότε η τιμή τις KWh και για τα δύο εργοστάσια είναι παρόμοια για εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 1000 MWe.

Βιβλιογραφία 5^ο κεφαλαίου

6. Stan Kaplan. CRS Report for Congress, Power Plant: Characteristics and Costs. Congressional Research Service.
7. Εφημερίδα της Κυβέρνησης, τεύχος 1^ο , αριθμός φύλλου 286, 29 Δεκεμβρίου 2000.
8. Εθνική Συλλογική Σύμβαση Εργασίας 2010-2011-2012.
9. Εθνική Συλλογική Σύμβαση Εργασίας 2008-2009.
10. S. Inwood. Program on Technology Innovation: Integrated Generation Technology Options. EPRI, Palo Alto, CA: 2011. 1022782.
11. Annual Energy Outlook 2011 With Projections to 2035. April 2011, U.S. Energy Information Administration, Office of Integrated and International Energy Analysis, U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585.
12. Flue gas desulfurization technology evaluation Dry lime vs. Wet limestone FGD, Project number 11311-001. National Lime Association.
13. Carbon Dioxide Emissions from the Generation of Electric Power in the United States. July 2000, Department of Energy Washington, DC 20585, Environmental Protection Agency Washington DC 20460.
14. 2011 Carbon Dioxide Price Forecast. Synapse Energy Economics, Inc.

Internet

12. Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος. <http://www.nbg.gr>
13. Eurostat. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
14. U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/>
15. World Nuclear Association. <http://www.world-nuclear.org/>

6.Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία βασίζεται στη χρήση του προγράμματος ORCOST II, το οποίο αποτελεί προϊόν του Office of Energy Systems Analysis – Division of Reactor Research and Development of the U.S. Energy Research and Development Administration, ως εργαλείο για την εκτίμηση του κόστους κατασκευής και στη συνέχεια του κόστους της kWh, που παράγεται από έξι, διαφορετικούς τύπους σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χρησιμότητα του προγράμματος δεν έγκειται στον ακριβή υπολογισμό του κόστους, για την κατασκευή και λειτουργία ενός σταθμού στο βαθμό που να αποτελεί δείκτη για την κατάρτιση επενδυτικού σχεδίου από κάποιον που θέλει να επενδύσει σε μια τέτοια κατασκευή. Για τέτοιες μελέτες απαιτούνται υπολογιστικά εργαλεία πολύ πιο ακριβή τα οποία μπορούν να εξειδικεύουν στην χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και να υπολογίζουν αναλυτικά τις αβεβαιότητες ενός τέτοιου εγχειρήματος. Ακόμη απαιτείται χρήση δεδομένων από παρόμοιες επενδύσεις, που έγιναν στο παρελθόν, καθώς και η γνώση των ειδικών συνθηκών που αφορούν στην κάθε περίπτωση.

Το πρόγραμμα ORCOST II υπολογίζει την επιρροή που ασκούν μια σειρά από παράγοντες στα διάφορα κόστη που αφορούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και δίνει μια εκτίμηση του μεγέθους αυτών. Οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν για έξι διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής συγκεκριμένα για ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) που χρησιμοποιούν ως καύσιμο άνθρακα (COAL), πετρέλαιο (OIL), φυσικό αέριο (GAS) και πυρηνικό καύσιμο (αντιδραστήρων πεπιεσμένου ύδατος (PWR), ζέοντος ύδατος (BWR) και αεριοψυκτούς (HTGR)). Δίνεται η δυνατότητα, ο χρήστης του προγράμματος, να αλλάξει πολλές από τις μεταβλητές που επηρεάζουν το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η έρευνα, που έγινε γι' αυτή την εργασία, έδωσε εκτιμήσεις για κάποιες από τις μεταβλητές αυτές ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω έρευνα πάνω στις δυνατότητες του προγράμματος που δεν έχουν μελετηθεί σε αυτή την εργασία.

Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης σχετικά με τα κόστη που αφορούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τους έξι διαφορετικούς τύπους εργοστασίων.

1. *Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί συμβατικών καυσίμων:* Οι σταθμοί παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες μεταξύ τους ως προς τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας και αντίστοιχα έχουν μεγάλες ομοιότητες και στα κόστη τους. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι μεγάλο ποσοστό του κόστους της παραγόμενης ενέργειας οφείλεται στο κόστος του καυσίμου.

Το κόστος επένδυσης είναι μεγαλύτερο για τους σταθμούς που χρησιμοποιούν τα πιο ρυπογόνα και με χαμηλότερη θερμική απόδοση καύσιμα με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους και εγκαταστάσεις καύσης.

Επιπλέον τα εργοστάσια άνθρακα και πετρελαίου απαιτούν και μονάδες αποθείωσης των καυσαερίων κάτι που ανεβάζει το κόστος.

Όσον αφορά το κόστος λειτουργίας ο σημαντικότερος παράγοντας που το επηρεάζει είναι το κόστος καυσίμου. Ακόμη παρατηρούμε ότι η καθαρότητα και η ποιότητα του καυσίμου συντελούν σε περισσότερο αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία της μονάδας και σημαντικά μειωμένη συντήρηση. Εχουμε έτσι μειωμένα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης ιδιαίτερα για τα εργοστάσια φυσικού αερίου.

Γενικά τα εργοστάσια πετρελαίου παράγουν την ακριβότερη ενέργεια ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κύμανση του κόστους ενέργειας των σταθμών που καίνε άνθρακα και φυσικό αέριο. Το κόστος ενέργειας από φυσικό αέριο είναι μικρότερο από εκείνο του άνθρακα για μικρή εγκατεστημένη ισχύ αφού το κόστος της επένδυσης για κάθε εγκατεστημένο KWe είναι μεγάλο για μικρή ισχύ. Όσο η ισχύς αυξάνεται, το κόστος αυτό μειώνεται και άλλα κόστη αρχίζουν να επηρεάζουν την τιμή της KWh όπως είναι το κόστος καυσίμου που είναι χαμηλότερο για τον άνθρακα. Έτσι βλέπουμε ότι για ισχύ μεγαλύτερη των 800 MWe ο ανθρακας συμφέρει περισσότερο από το φυσικό αέριο.

Παρατίθενται παρακάτω δύο πίνακες με τα κόστη καυσίμου και ηλεκτροπαραγωγής ανά KWh για τους τρεις ατμοηλεκτρικούς σταθμούς συμβατικών καυσίμων όπως αυτά προέκυψαν από της μετρήσεις, για εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 1000MWe.

Πίνακας 6.1 Κόστη Ατμοηλεκτρικών Σταθμών			
Κόστος (MILLS/KWH)	Άνθρακας	Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο
Πάγιο	25,17	22,02	17,35
Λειτουργίας/Συντήρησης	24,02	16,92	7,13
Καυσίμου	22,27	94,97	50,78
Συνολικό	71,46	133,91	75,26

Πίνακας 6.2 Κόστος Καυσίμου Ατμοηλεκτρικών Σταθμών	
	Κόστος Καυσίμου CENTS/MILLION BTU
Άνθρακας	234,00
Πετρέλαιο	525,00
Φυσικό Αέριο	984,00

2. *Πυρηνικοί Σταθμοί:* Οι σταθμοί αυτοί παρουσιάζουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής από τους σταθμούς συμβατικών καυσίμων. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι τα αυξημένα μέτρα ασφαλείας που θα πρέπει να λαμβάνονται, λόγω της φύσης της πυρηνικής ενέργειας, καθώς και κόστη που σχετίζονται με τον αντιδραστήρα όπως το κόστος του δοχείου πίεσης. Χαρακτηριστικό των εργοστασίων αυτών είναι το χαμηλό κόστος καυσίμου που καθιστά την τιμή της παραγόμενης ενέργειας ανεπηρέαστη σε μεταβολές της αγοράς κατά τη διάρκεια ζωής του εργοστασίου.

Οι πυρηνικοί σταθμοί, σύμφωνα με τη μελέτη, αποτελούν τον πιο οικονομικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτέλεσμα του χαμηλού κόστους καυσίμου. Γενικά τη φθηνότερη ενέργεια παράγουν τα εργοστάσια με αντιδραστήρες BWR καθώς χρησιμοποιούν το οικονομικότερο καύσιμο (εμπλουτισμένο ουράνιο). Ακολουθούν τα PWR εργοστάσια τα οποία χρησιμοποιούν το ίδιο καύσιμο με τα BWR αλλά έχουν αυξημένο κόστος κατασκευής λόγω του δευτερεύοντος συστήματος ψύξης του αντιδραστήρα τους. Τέλος τα HTGR εργοστάσια παράγουν ακριβότερη ενέργεια, από τα άλλα δύο, καθώς χρησιμοποιούν ακριβότερο καύσιμο (φυσικό ουράνιο) αλλά παραμένουν φθηνότερα από τα συμβατικά εργοστάσια.

Παρατίθενται παρακάτω δύο πίνακες με τα κόστη καυσίμου και ηλεκτροπαραγωγής ανά KWh για τους τρεις πυρηνικούς σταθμούς όπως αυτά προέκυψαν από τις μετρήσεις, για εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 1000MWe.

Πίνακας 6.3 Κόστη Πυρηνικών Σταθμών

Κόστος (MILLS/KWH)	BWR	PWR	HTGR
Πάγιο	28,80	29,43	29,69
Λειτουργίας/Συντήρησης	14,27	14,27	14,13
Καυσίμου	7,90	7,90	8,09
Συνολικό	50,96	51,60	51,91

Πίνακας 6.4 Κόστος Καυσίμου Πυρηνικών Σταθμών

	Κόστος Καυσίμου CENTS/MILLION BTU
Εμπλουτισμένο Ουράνιο	74,89
Φυσικό Ουράνιο	89,92

Για να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων με πραγματικά στοιχεία, παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα κόστη κτίσης ανά εγκατεστημένο KWe ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) που χρησιμοποιούν ως καύσιμο άνθρακα, και πυρηνικό καύσιμο. Στην πρώτη στήλη παρουσιάζεται ο μέσος όρος δείγματος που λήφθηκε από την αμερικανική αγορά [1] ενώ στη δεύτερη ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης.

Πίνακας 6.5 Σύγκριση κόστους κτίσης (\$/KWe)		
	Πραγματικές τιμές	ORCOST II
Άνθρακας	2.519,00	1.242,27
Πυρηνικό Καύσιμο	3.930,00	1.536,35

Ακόμη παρουσιάζεται πίνακας με τα αποτελέσματα αντίστοιχης έρευνας, για αγορά του εξωτερικού, που περιλαμβάνει εκτιμήσεις για το κόστος ενέργειας για ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) που χρησιμοποιούν ως καύσιμο άνθρακα, φυσικό αέριο (GAS) και πυρηνικό καύσιμο[1]. Η πρώτη στήλη περιέχει τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής ενώ η δεύτερη τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ως μέσο όρο των τιμών που λάβαμε για τις διάφορες εγκατεστημένες ισχύς των εργοστασίων (για το πυρηνικό καύσιμο υπολογίζουμε τιμές για PWR εργοστάσιο).

Πίνακας 6.6 Σύγκριση Κόστους Ενέργειας (\$/MWh)		
	Ανεξάρτητη Έρευνα	ORCOST II
Άνθρακας	63,10	73,81
Φυσικό αέριο	61,77	76,06
Πυρηνικό Καύσιμο	83,22	53,21

Το πρόγραμμα ORCOST II γράφθηκε το 1971 έτσι η εργασία περιέχει μερικές παραδοχές που σχετίζονται με τις τεχνολογίες και τα οικονομικά στοιχεία εκείνης της περιόδου. Έτσι μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- Το κόστος κτίσης των εργοστασίων εκτιμάται χαμηλότερο από το πραγματικό ενώ η τιμή της ενέργειας υψηλότερη (για τα συμβατικά καύσιμα). Αυτό έχει να κάνει με το ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε αποδοτικότερες μεθόδους χρήσης του καυσίμου κατά την ηλεκτροπαραγωγή. Έτσι ενώ η

αγορά τέτοιας τεχνολογίας είναι ακριβότερη, η παραγόμενη ενέργεια είναι φθηνότερη καθώς το κόστος καυσίμου επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος της ενέργειας.

- Το φυσικό αέριο δίδει φθηνότερη ενέργεια σε σχέση με τον άνθρακα στην ανεξάρτητη έρευνα. Αυτό συμβαίνει γιατί το 1971 η χρήση φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή ήταν περιορισμένη έτσι η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν είχε αναπτυχθεί στον ίδιο βαθμό με άλλες. Στη σημερινή εποχή, η τεχνολογία αυτή, χρησιμοποιείται ευρύτατα με αποτέλεσμα να υπάρχουν νέες αποδοτικότερες μέθοδοι που η δική μας έρευνα δεν έχει λάβει υπόψη.
- Τα πυρηνικά εργοστάσια παράγουν ακριβότερη ενέργεια στις σύγχρονες εκτιμήσεις, σε σχέση με την εκτίμηση της παρούσας εργασίας. Αυτό είναι άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης των μέτρων ασφαλείας σε ότι αφορά την πυρηνική ενέργεια. Μέχρι το 1971 δεν είχαν συμβεί σημαντικά ατυχήματα που να σχετίζονται με πυρηνικά εργοστάσια από τότε όμως έχουν λάβει χώρα αρκετά, με σημαντικότερο εκείνο του Τσέρνομπιλ. Αυτό σε συνδυασμό με την καλύτερη κατανόηση της πυρηνικής ενέργειας και τον κινδύνων της έχουν οδηγήσει σε σημαντική αναβάθμιση των συστημάτων ασφαλείας των πυρηνικών εργοστασίων. Το γεγονός αυτό επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των πυρηνικών εργοστασίων με αποτέλεσμα τις αυξημένες τιμές που έχουμε στη σύγχρονη έρευνα.

Γενικά παρατηρούμε ότι η παρούσα έρευνα παρακολουθεί σε μεγάλο βαθμό την κύμανση των διάφορων συνιστωσών κόστους που αφορούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μελέτη της οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα όσο αφορά στο κόστος της ηλεκτροπαραγωγής και των παραγόντων που το επηρεάζουν. Ωστόσο προτείνεται σε μελλοντικές μελέτες να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο το πρόγραμμα ORCOST II μπορεί να προσεγγίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τα σύγχρονα δεδομένα. Προτείνεται ακόμη η επέκταση της έρευνας σε τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής που η παρούσα εργασία δεν καλύπτει ιδιαίτερα εκείνες που αφορούν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς η χρήση τους έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Τέλος θα ήταν χρήσιμη μια έρευνα που θα συγκέντρωνε πραγματικά στοιχεία που σχετίζονται με τα κόστη ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα. Με τα στοιχεία αυτά θα μπορούσαμε στο μέλλον να προχωρήσουμε σε αναβάθμιση του προγράμματος ORCOST II ώστε να το καταστήσουμε εξειδικευμένο όργανο για μελέτες που αφορούν το κόστος ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα.

Βιβλιογραφία 6^{ου} κεφαλαίου

1. Stan Kaplan. CRS Report for Congress, Power Plant: Characteristics and Costs. Congressional Research Service.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Το Παράρτημα Ι περιλαμβάνει τους υπολογισμούς που έγιναν για την παρούσα εργασία και αποτελούνται από τις εκτελέσεις του προγράμματος ORCOST II. Το παράρτημα βρίσκεται στο συνοδευτικό ψηφιακό δίσκο της διπλωματικής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Το παράρτημα ΙΙ περιλαμβάνει τη σύγκριση του προγράμματος ORCOST ΙΙ όπως αυτό μας δόθηκε αρχικά (Αρχικό) με την τελική μορφή που του δώσαμε ώστε να είναι εκτελέσιμο στον υπολογιστή της σχολής (Τελικό). Το παράρτημα βρίσκεται στο συνοδευτικό ψηφιακό δίσκο της διπλωματικής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Στο παράρτημα ΙΙΙ περιλαμβάνονται οι δημοσιεύσεις της Εφημερίδας της Κυβέρνησης που περιλαμβάνουν νομοθεσίες που αφορούν την παρούσα εργασία. Το παράρτημα βρίσκεται στο συνοδευτικό ψηφιακό δίσκο της διπλωματικής.