



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Υπολογιστική μοντελοποίηση δράσεων για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων»



Όνοματεπώνυμο: Μανώλης Κλάδος

Επιβλέπων Καθηγητής: Εμμανουήλ Κακαράς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ & ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ</u>	6
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	6
1.1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	6
1.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	8
1.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
1.2.1 ΚΑΥΣΙΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
1.2.2 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	12
1.2.3 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
1.2.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΗΝ ΥΨΗΛΙΟ	15
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</u>	18
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
2.2 ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	19
2.3. ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	24
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ.....</u>	26
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26
3.2 ΥΓΡΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	26
3.2.1 ΜΑΖΟΥΤ	27
3.2.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ DIESEL	28
3.2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	29
3.3 ΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ – ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ.....	30
3.3.1 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	30
3.3.2 ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	32
3.3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	32
3.3.4 Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ.....	34
3.4 ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	35
3.4.1 ΛΙΓΝΙΤΗΣ.....	35
3.4.2 ΟΡΥΧΕΙΑ ΛΙΓΝΙΤΗ.....	36
3.4.3 ΕΞΟΡΥΞΗ ΛΙΓΝΙΤΗ.....	41
3.4.4 ΤΥΡΦΗ.....	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... 45

4.1 ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (Α.Η.Σ.).....	45
4.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	45
4.1.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ CLAUSIUS – RANKINE.....	46
4.1.3 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ CLAUSIUS – RANKINE.....	47
4.1.4 ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΣ.....	50
4.1.5 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ.....	53
4.1.6 ΑΝΤΛΙΕΣ.....	55
4.1.7 ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ – ΑΠΑΕΡΙΩΣΗ.....	56
4.1.8 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ.....	59
4.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ.....	59
4.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	59
4.2.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ JOULE – BRAYTON.....	60
4.2.3 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ JOULE – BRAYTON.....	61
4.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ – ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ.....	63
4.4 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Α.Η.Σ.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ Α.Η.Σ. ΕΛΛΑΔΑΣ..... 71

5.1 Α.Η.Σ. ΚΑΡΔΙΑΣ.....	71
5.1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ Α.Η.Σ. ΚΑΡΔΙΑΣ.....	71
5.1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ Α.Η.Σ. ΚΑΡΔΙΑΣ III – ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	72
5.1.3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Α.Η.Σ. ΚΑΡΔΙΑΣ III ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	75
5.1.4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ III.....	86
5.1.5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΡΔΙΑΣ III.....	87
5.1.6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ.....	94
5.2 Α.Η.Σ. ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ.....	97
5.2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ Α.Η.Σ. ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ.....	97
5.2.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ III – ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	98
5.2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ III ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	101
5.2.4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ III ΣΤΗΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	110
5.2.5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ III ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟΧΟΥ.....	111
5.2.6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ.....	117
5.3 Α.Η.Σ. ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ.....	118
5.3.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ Α.Η.Σ. ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ.....	118
5.3.2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Α.Η.Σ. ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ III ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	120

5.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ ΙΙΙ	129
5.3.4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ ΙΙΙ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟΧΟΥ	130
5.3.5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ	137
5.4. ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	140
5.4.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΝΙΩΝ	140
5.4.2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΧΑΝΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	141
5.4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	146
ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	149
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	151

Περίληψη

Η παρούσα Διπλωματική εργασία έχει θέμα «Υπολογιστική μοντελοποίηση δράσεων για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων». Η μελέτη έγινε με χρήση υπολογιστικού προγράμματος, μέσω του οποίου μοντελοποιήθηκαν τέσσερις μονάδες, ενώ οι προτεινόμενες δράσεις για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης δόθηκαν από αναφορές τις Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.). Η δομή της συγκριμένης μελέτης αναλύεται στη συνέχεια.

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, και ιδιαίτερα της ηλεκτρικής ενέργειας, η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, η δυναμική εισχώρηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στο ενεργειακό ισοζύγιο, αλλά και η κλιματική αλλαγή, είναι τα κυριότερα σχήματα που συνθέτουν το ψηφιδωτό της ενεργειακής κατάστασης παγκοσμίως. Το πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζει με χρήση στατιστικών δεδομένων την ως άνω περιγραφείσα κατάσταση, και ειδικότερα εστιάζει στις μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στην κατανάλωση αυτής στην Ελλάδα και παγκοσμίως, αφού πρώτα γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρισμού.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί συνέχεια του πρώτου, καθώς περιγράφει το δυναμικό των μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού της Δ.Ε.Η., οι οποίες αποτελούνται από Α.Η.Σ., Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (Υ.Η.Σ.) και αυτόνομα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z) των μη διασυνδεδεμένων νησιών της Ελλάδας. Επιπλέον, στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται και ο σχεδιασμός της Δ.Ε.Η. για την κατασκευή νέων μονάδων σε όλη τη χώρα.

Ολοκληρώνοντας με τα ενημερωτικά στοιχεία των κεφαλαίων ένα και δύο, στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά και η χρήση των ορυκτών καυσίμων. Η ανάλυση γίνεται για τα υγρά (μαζούτ & Diesel), τα αέρια (φυσικό αέριο) και τα στερεά καύσιμα (λιγνίτης & τύρφη), τα οποία αποτελούν τα κύρια καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο φυσικό αέριο και τον λιγνίτη, καθώς το πρώτο είναι το καύσιμο του μέλλοντος, ενώ ο λιγνίτης αποτελεί το εθνικό καύσιμο της Ελλάδας, όπως χαρακτηριστικά το ονομάζει η Δ.Ε.Η..

Στο κεφάλαιο τέσσερα γίνεται μια σύντομη και περιεκτική περιγραφή της τεχνολογίας (θερμοδυναμική ανάλυση) των Α.Η.Σ., των αεριοστρόβιλων, αλλά και των πλέον σύγχρονων και ανώτερων ενεργειακά μονάδων απόδοσης, αυτές του συνδυασμένου κύκλου. Έμφαση δίνεται στις μεθόδους βελτίωσης του βαθμού απόδοσης υφιστάμενων ή και νέων μονάδων παράγωγης ηλεκτρισμού.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μοντελοποίηση των σταθμών της Καρδιάς (μονάδα III), της Μεγαλόπολης (μονάδα III), του Αλιβερίου (μονάδα III) και της μονάδας συνδυασμένου κύκλου των Χανίων (περιοχή Ξυλοκαμάρας). Οι σταθμοί μοντελοποιήθηκαν στο υπολογιστικό πρόγραμμα Gate Cycle (έκδοση 5.51.0.r), της εταιρίας General Electric. Η κάθε μονάδα αρχικά μοντελοποιήθηκε σε συνθήκες σχεδιασμού (σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δοκιμών παραλαβής), στη συνέχεια το μοντέλο προσαρμόστηκε στις υπάρχουσες συνθήκες (σύμφωνα με αναφορά της Δ.Ε.Η. για τη λειτουργία του σταθμού) και τέλος εξετάστηκε το ενεργειακό όφελος που προσέφεραν οι προτεινόμενες δράσεις της Δ.Ε.Η.. Στη συνέχεια εξετάστηκε η οικονομική βιωσιμότητα της κάθε επένδυσης (δράση), ανάλογα με το ενεργειακό όφελος που προσέφερε. Η παραπάνω διαδικασία δεν ακολουθήθηκε στον σταθμό των Χανίων, καθώς δεν υπήρχε αναφορά της Δ.Ε.Η. για την υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως των κ. Αλέξανδρο Μυλωνάκη, πρώην Γενικό Διευθυντή της Δ.Ε.Η., για τον προγραμματισμό των επισκέψεων στους Α.Η.Σ. Πτολεμαΐδας και Αγίου Δημητρίου, αλλά και για τις σημαντικές πληροφορίες που με εφοδίασαν οι συμβουλές του. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Εμμανουήλ Κακαρά για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, αλλά και τον Δρ. Άγγελο Δουκέλη για τη χρήσιμη καθοδήγηση του στην πορεία της παρούσας Διπλωματικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Βασιλική Ανδριανοπούλου για τις παρατηρήσεις της στην τελική διαμόρφωση του κειμένου, αλλά και για την υποστήριξη κατά τη διάρκεια συγγραφής της Διπλωματικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ

ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

1.1.1 Παγκόσμια ιστορική αναδρομή

Η πρώτη δημόσια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως λειτούργησε στα τέλη του 1881, όταν φωτίστηκαν οι οδοί της πόλης του Godalming στο Surrey της Μεγάλης Βρετανίας. Αρχικά με 3 λάμπες βολταϊκού τόξου και 7 λάμπες πυρακτώσεως και αργότερα με 4 και 27 λάμπες αντίστοιχα. Η γεννήτρια ήταν μονοφασική της εταιρίας Siemens που παρείχε 250V/12A με 1.200 στροφές ανά λεπτό. Η κίνηση της γεννήτριας προερχόταν από δύο υδρόμυλους και λειτούργουσε μόνο σε εποχή κανονικών βροχοπτώσεων, γιατί δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί επαρκώς η ροή νερού στο ποτάμι που διέτρεχε την πόλη. Αυτή η μονάδα παρείχε επίσης την ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορα καταστήματα και εγκαταστάσεις. [1]

Τον Δεκέμβριο του 1881, ο Robert Hammond, κατέδειξε το νέο ηλεκτρικό φως στην πόλη Sussex του Brighton της Μεγάλης Βρετανίας για μια δοκιμαστική περίοδο. Η επιτυχημένη λειτουργία αυτής της εγκατάστασης επέτρεψε στον Hammond να θέσει σε εμπορική και νομική βάση την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς διάφοροι ιδιοκτήτες καταστημάτων θέλησαν να χρησιμοποιήσουν το νέο ηλεκτρικό φως. Συνεπώς δημιουργήθηκε η Hammond Electricity Supply Co. [2]

Στις αρχές του 1882, ο Edison λειτούργησε τον παγκόσμια πρώτο Ατμοηλεκτρικό Σταθμό (Α.Η.Σ.) στο Holborn Viaduct του Λονδίνου, όπου είχε συμφωνήσει με τη δημοτική εταιρία της πόλης να εφοδιάσει διάφορους τοπικούς καταναλωτές με το ηλεκτρικό φως για τρεις μήνες. Η μέθοδος παροχής ήταν με συνεχές ρεύμα. [2]

Ενώ οι μονάδες του Godalming και του Holborn Viaduct έκλεισαν μετά από μερικά έτη, η μονάδα του Brighton εξελισσόταν συνεχώς, με αποτέλεσμα το 1887 να παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα όλο το εικοσιτετράωρο. [2]

Το Σεπτέμβριο του 1882 ο Edison λειτούργησε τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στην πόλη της Νέας Υόρκης (Pearl Street Power Station), όπου πάλι η μέθοδος παροχής ήταν με συνεχές ρεύμα. Αυτός ήταν ο λόγος για τον οποίο η παραγωγή γινόταν κοντά στους αποδέκτες, δεδομένου ότι ο Edison δεν είχε κανένα μέσο για τη μετατροπή της τάσης. [2]

Στη Γερμανία εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Στουγκάρδη το έτος 1882, ισχύος 1,5 kW και ήταν σε θέση να τροφοδοτεί μέχρι 30 λάμπες πυρακτώσεως. Το ίδιο έτος άρχισαν να φωτίζονται δρόμοι του Βερολίνου με ηλεκτρικές λάμπες χαμηλής ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνταν από γειτονικές μονάδες παραγωγής. Το έτος 1885 εγκαταστάθηκε στο Βερολίνο ο πρώτος μεγάλος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είχε την άδεια να τροφοδοτεί καταναλωτές σε ακτίνα μέχρι 800 μέτρα. [1]

Ο Nikola Tesla, που είχε συνεργαστεί με τον Edison για μια σύντομη περίοδο, επινόησε ένα εναλλακτικό σύστημα χρησιμοποιώντας το εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο Tesla παρατήρησε ότι διπλασιάζοντας την τάση θα διχοτομούσε το ρεύμα και θα μείωνε τις απώλειες κατά τρία τέταρτα. Μόνο ένα σύστημα εναλλασσόμενων ρευμάτων επέτρεπε το μετασχηματισμό μεταξύ των επιπέδων τάσης στα διαφορετικά μέρη του συστήματος. Αυτό επέτρεψε την ανάπτυξη των υψηλών τάσεων για τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος, όπου οι κίνδυνοι μπορούσαν εύκολα να μετριαστούν από ένα καλό σχεδιασμό, ώστε να είναι ασφαλής η μεταφορά των φορτίων. [2]

Το 1888, ο George Westinghouse ανακάλυψε την έρευνα του Tesla, ο οποίος είχε λάβει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για έναν τύπο μετασχηματιστή που θα μπορούσε να διαχειριστεί υψηλή ισχύ και ήταν εύκολο να κατασκευαστεί. Ο Westinghouse λειτουργούσε ένα εργοστάσιο φωτισμού εναλλασσόμενου ρεύματος στο Great Barrington της Μασαχουσέτης από το 1886. Με τον Tesla και τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας του, ο Westinghouse κατασκεύασε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας για ένα χρυσορυχείο στο Telluride του Κολοράντο (1891), με γεννήτρια κινούμενη από νερό ισχύος 75 KW που τροφοδοτούσε μια μηχανή 75 KW μέσω ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου σε απόσταση 4km. Ο Almarian Decker εφήυρε τελικά το σύστημα τριφασικής παραγωγής ισχύος στο Redlands της Καλιφόρνια το 1893. Κατόπιν, σε μια συμφωνία με την General Electric, εταιρία την οποία ο Edison ήταν αναγκασμένος να πωλήσει, η επιχείρηση του Westinghouse κατασκεύασε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στου καταρράκτες του Νιαγάρα, με τρεις γεννήτριες Τέσλα ισχύος 3,7 MW, ηλεκτρική ενέργεια την οποία παρείχαν σε μια βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου στην πόλη Buffalo 35km μακριά. Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος του Νιαγάρα ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 20 Απριλίου 1895. [2]

Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε την παραγωγή σε αδιέξοδο, γιατί η μοναδική κινητήρια μηχανή, η ατμομηχανή, δεν ήταν σε θέση να καλύψει τις τεχνικές απαιτήσεις. Η αναζήτηση για μια νέα κινητήρια μηχανή οδήγησε αρχικά τον Άγγλο C.A. Parsons (1854-1931) και αργότερα τον Σουηδό C.G.P. Laval (1845-1915) στην κατασκευή ατμοστροβίλων. Η αρχή λειτουργίας του ατμοστρόβιλου ήταν βέβαια γνωστή ήδη από την εποχή του Ήρωνα και αργότερα από τον 17ο αιώνα. Οι πρώτες μονάδες σταθερής απόδοσης κατασκευάστηκαν

όμως το 1884 από τον Parsons και το 1899 από τον Laval, του οποίου ο ατμοστρόβιλος ήταν μια παραλλαγή εκείνου του Parsons. [2]

Το 1905 άρχισε η λειτουργία της γραμμής υψηλής τάσης 50kV στην περιοχή του Μονάχου και το 1909 της γραμμής 100kV με μήκος 290 km στο Sohshona-Boulder των ΗΠΑ. [2]

1.1.2 Ιστορική αναδρομή στην Ελλάδα

Το 1889 φτάνει το "ηλεκτρικό" στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργοληψιών, κατασκευάζει στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει κι αυτή το ηλεκτρικό φως καθώς Βελγική Εταιρεία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. [3]

Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρία Thomson - Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση κι άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν



250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους. Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. [3]

Το 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα 400 περίπου εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας που φυσικά εισάγονταν από το εξωτερικό. Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό λοιπόν ήταν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο. [3]

Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.), για να λειτουργήσει "χάριν του δημοσίου συμφέροντος" με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την

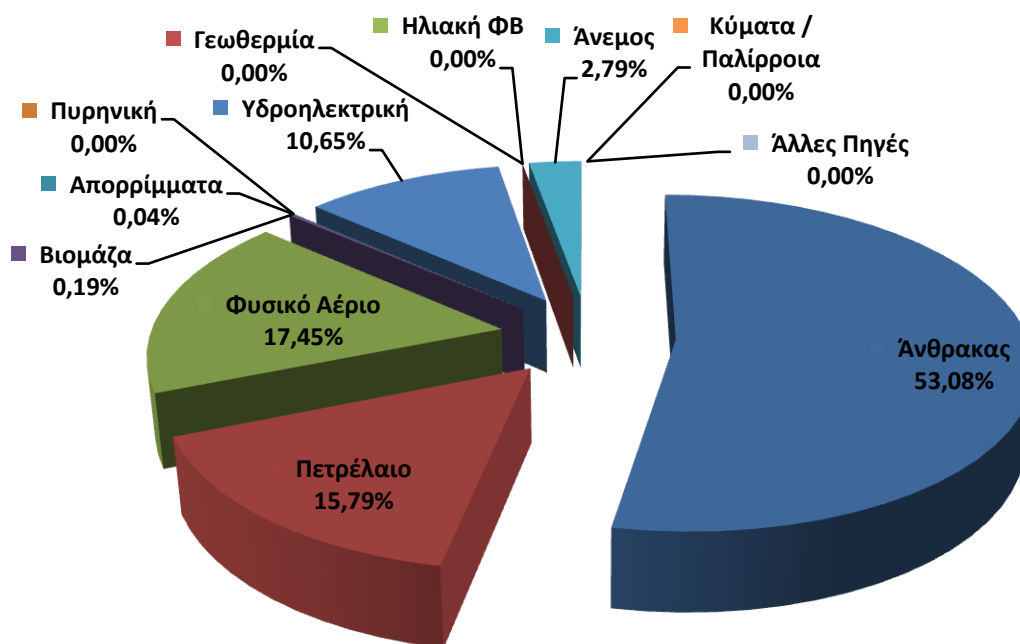
εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, να κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή. Αμέσως μετά την ίδρυση της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που κατασκευάζονταν. [3]

Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σταδιακά η Δ.Ε.Η. εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της. Σ' όλα αυτά τα χρόνια της παρουσίας της, αγωνίστηκε και πέτυχε την ενεργειακή αυτονομία της χώρας και έφερε σε πέρας το σπουδαίο έργο του εξηλεκτισμού της δημιουργώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς ελληνικής βιομηχανίας. [3] Το Σεπτέμβριο του 1956, η εταιρεία ΛΙ.ΠΤΟΛ. Α.Ε. (Λιγνιτωρυχεία Πτολεμαΐδας) με πρόεδρο τον κ. Μποδοσάκη, υπέγραψε σύμβαση με τη Γερμανική εταιρεία KHD για την κατασκευή του πρώτου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο λιγνίτη, ισχύος 10 MW. Έκτοτε, οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί πολλαπλασιάζονται ενώ νέα ορυχεία ανοίγονται συνεχώς στον άξονα Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας - Κοζάνης. Ο λιγνίτης, το εθνικό μας καύσιμο, έχει αναλάβει πλέον κυρίαρχη θέση στο ενεργειακό μας σύστημα. Παράλληλα, η Δ.Ε.Η. ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας. [4]

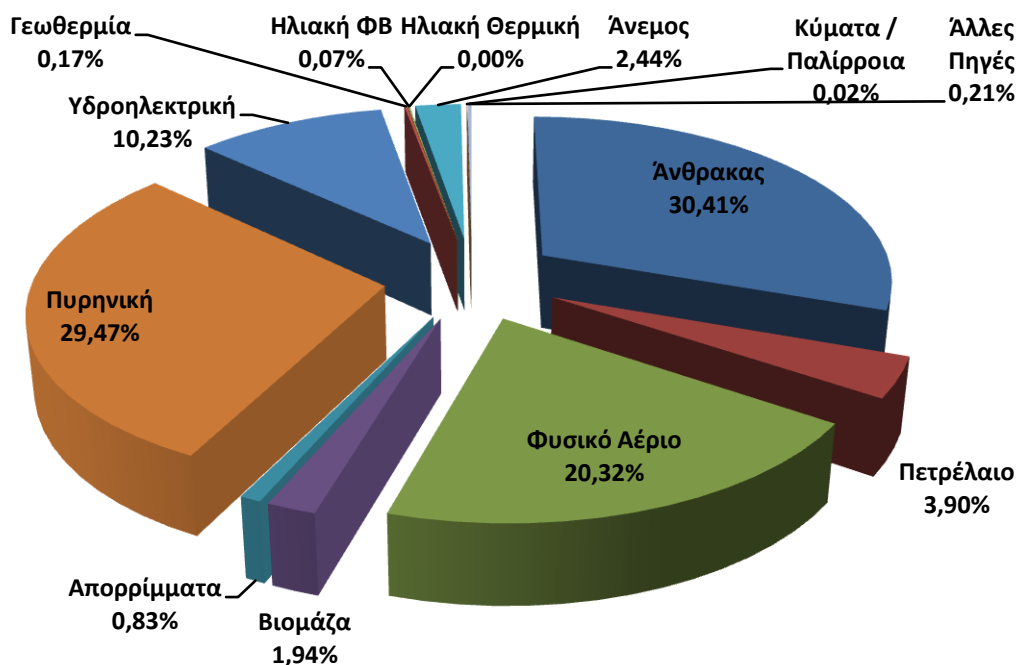
1.2 Στατιστικά Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με την εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό, μεταβάλλονται διαχρονικά. Παράλληλα, η αύξηση του πληθυσμού, αλλά και η αλλαγή του τρόπου ζωής έχουν επιβάλλει μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικότερα στοιχεία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτυπώνονται στα στατιστικά δεδομένα του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency/IEA), τα οποία ακολουθούν.

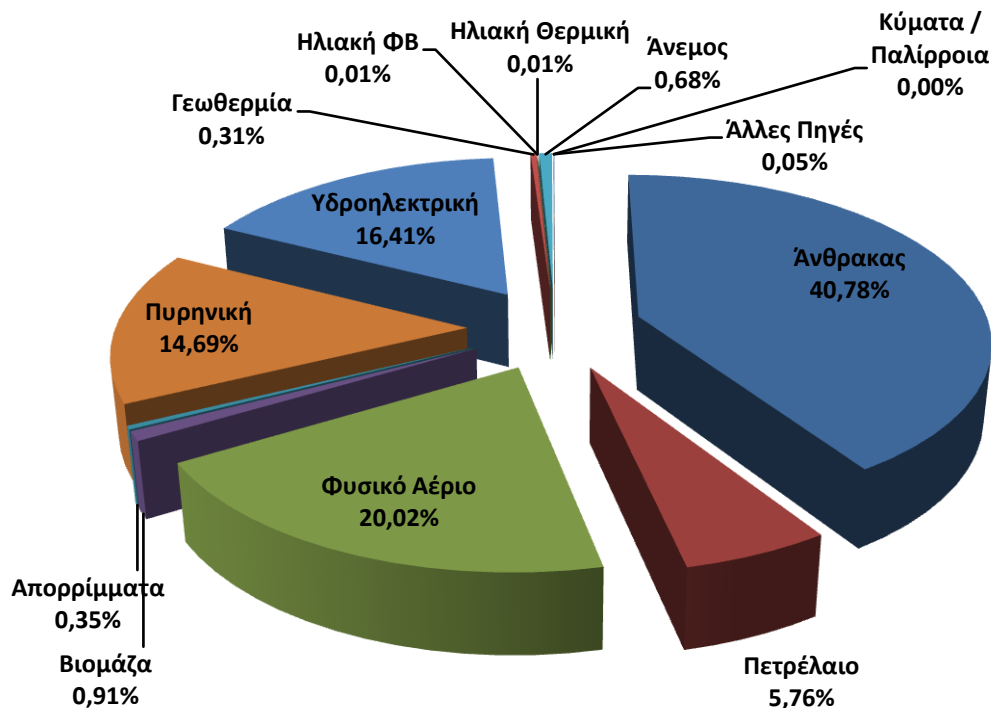
1.2.1 Καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 1.2.1α Καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (2006),[5]



Σχήμα 1.2.1β Καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε. των 27 (2006),[5]



Σχήμα 1.2.1γ Καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως (2006),[5]

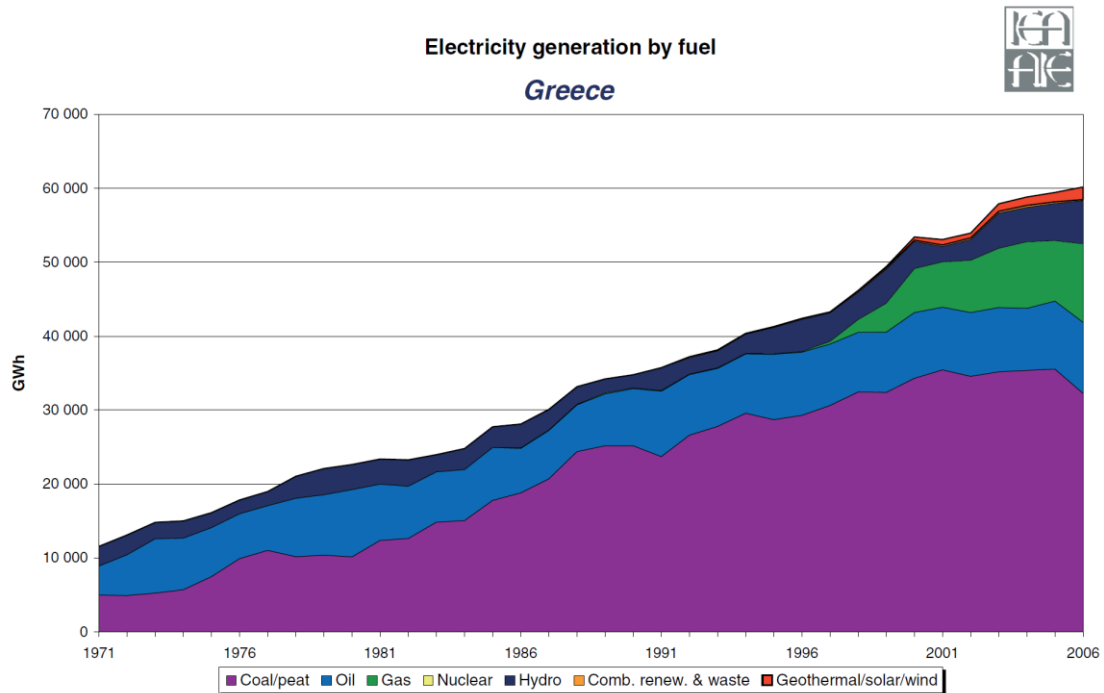
Το πρώτο συμπέρασμα, το οποίο εξάγεται, παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα είναι πως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στον 21^ο αιώνα παγκοσμίως, παραμένει εξαρτημένη από τον άνθρακα σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Συγκρίνοντας τα σχήματα μεταξύ τους, παρατηρείται πως ανάμεσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) (Σχήμα 1.2.1β) και παγκοσμίως (Σχήμα 1.2.1γ), δεν υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκτός από το γεγονός πως παγκοσμίως η πυρηνική ενέργεια (~15%) έχει τη μισή δυναμικότητα από ότι στην Ε.Ε. (~30%), μέρος το οποίο αντικαθιστάται από τον άνθρακα (~10% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από άνθρακα παγκοσμίως από ότι στην Ε.Ε.) και τα υδροηλεκτρικά (~5% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από υδροηλεκτρικά παγκοσμίως από ότι στην Ε.Ε.).

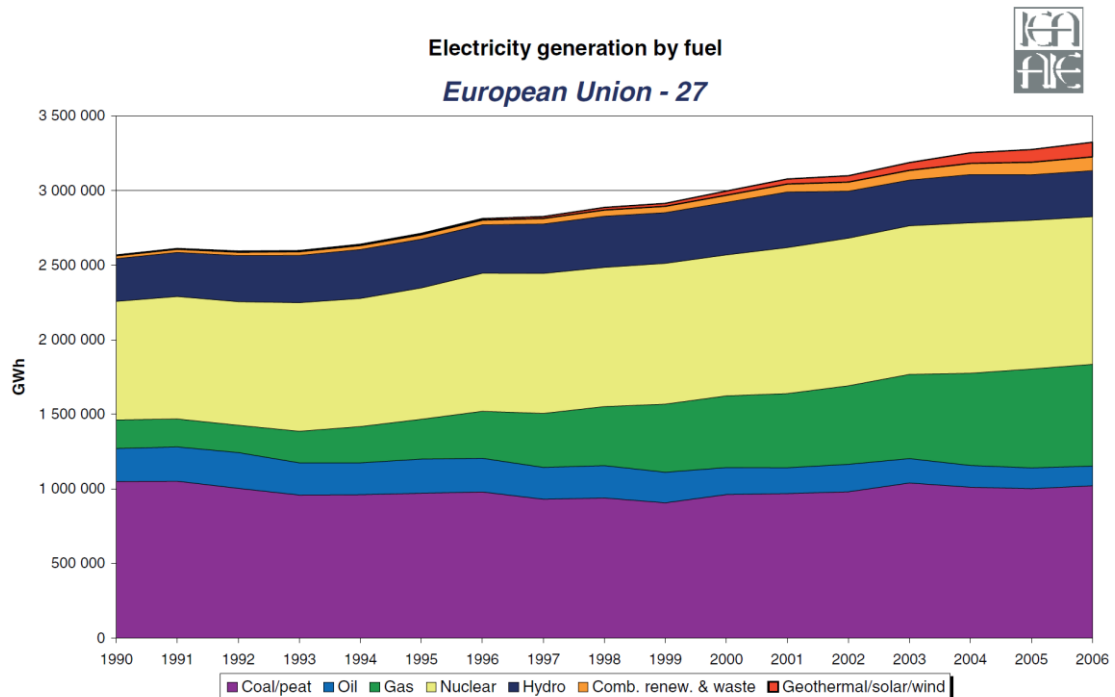
Από την άλλη πλευρά η Ελλάδα (Σχήμα 1.2.1α) διαφέρει πολύ από τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο, όπως και από την κατάσταση που αποτυπώνεται σε παγκόσμια κλίμακα. Αρχικά παρατηρείται μεγάλη εξάρτηση της ηλεκτρικής παραγωγής της Ελλάδας από το πετρέλαιο (~15%), σε αντίθεση και με την Ε.Ε. (~4%) και τον κόσμο (~6%). Επιπλέον είναι ξεκάθαρη η εξάρτηση της Ελλάδας από τον άνθρακα (λιγνίτης) σε ποσοστό σχεδόν διπλάσιο της Ε.Ε.. Αντίθετα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η εκμετάλλευση του φυσικού αερίου, αλλά και του αιολικού δυναμικού της χώρας την κάνουν να κυμαίνεται σε Ευρωπαϊκά επίπεδα. Τέλος, αξιοσημείωτη είναι η πλήρης απουσία πυρηνικής ενέργειας στην Ελλάδα, όπως επίσης και η αμυδρή ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων.

1.2.2 Διαχρονική χρήση καυσίμων

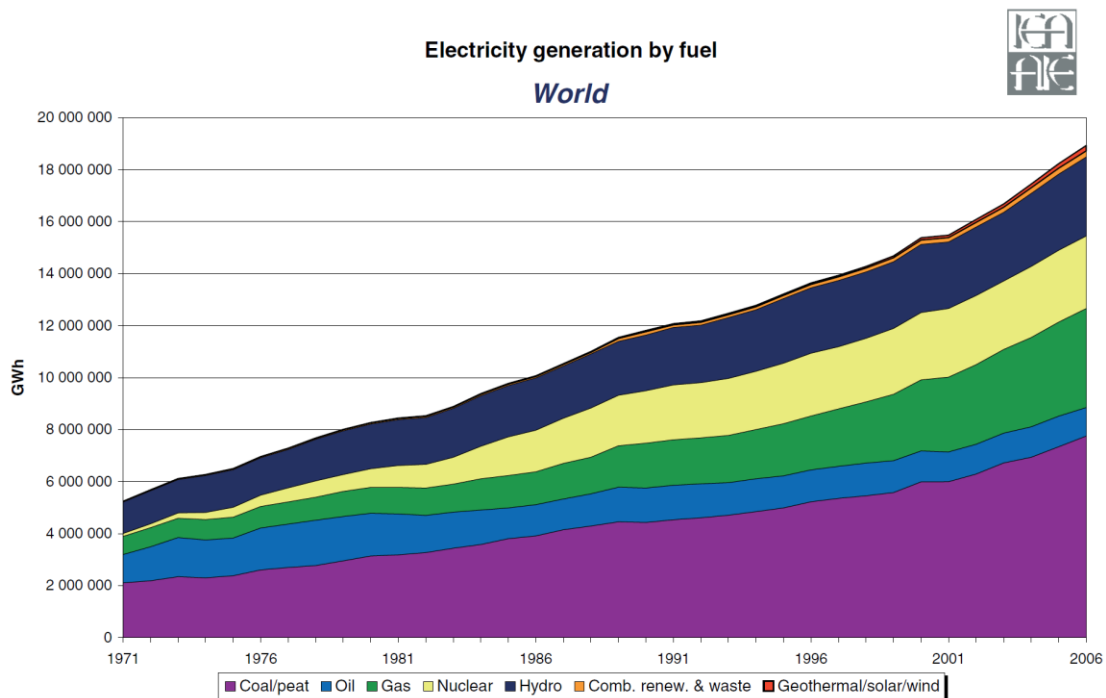
Αξίζει να παρατηρήσουμε τη διαχρονική πορεία των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και την πορεία της ζήτησης του ηλεκτρισμού από τους καταναλωτές.



Σχήμα 1.2.2α Διαχρονική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και καταμερισμός καυσίμων για την παραγωγή αυτής στην Ελλάδα,[5]



Σχήμα 1.2.2β Διαχρονική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και καταμερισμός καυσίμων για την παραγωγή αυτής στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27,[5]



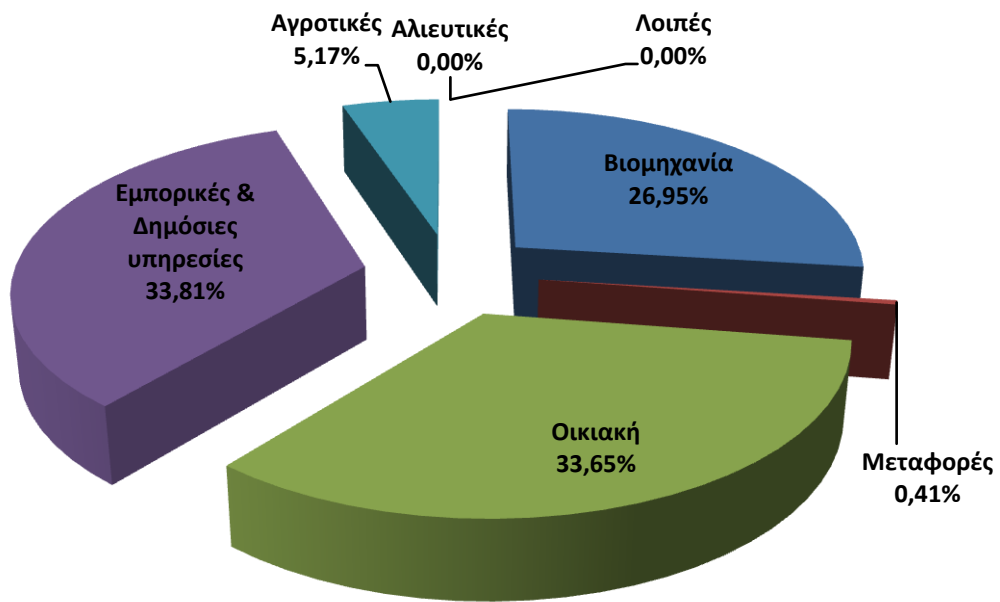
Σχήμα 1.2.2γ Διαχρονική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και καταμερισμός καυσίμων για την παραγωγή αυτής παγκοσμίως,[5]

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται άμεσα η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας διαχρονικά. Μάλιστα παγκοσμίως (σχήμα 1.2.2γ), η ζήτηση για ηλεκτρισμό αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς όσο περνούν τα χρόνια, σε αντίθεση με την Ελλάδα (σχήμα 1.2.2α) και την Ε.Ε. (σχήμα 1.2.2β), όπου παρουσιάζεται σταθερότητα στο ρυθμό αύξησης της ζήτησης.

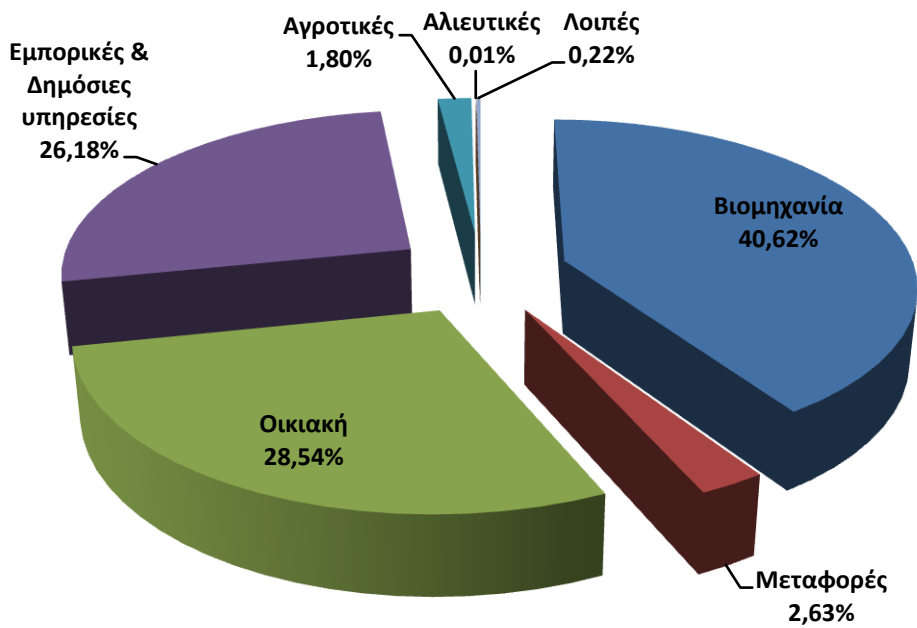
Όσον αφορά τις μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρείται πως η υδροηλεκτρική και η πυρηνική ενέργεια, παρουσιάζουν σταθερότητα μετά το 1990. Η χρήση του πετρελαίου μειώνεται παγκοσμίως, σε αντίθεση με την Ελλάδα που μένει σταθερή (γεγονός λογικό, καθώς δεν σταμάτησε να λειτουργεί κανένας από τους υφιστάμενους σταθμούς με καύσιμο το πετρελαίο). Το φυσικό αέριο εμφανίζει συνεχώς αυξητική τάση σε όλα τα διαγράμματα, ενώ αξίζει εδώ να παρατηρηθεί η αργοπορία της χρήσης φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρισμού της Ελλάδας (1997). Ο άνθρακας στην Ε.Ε. δείχνει να έχει μία ελαφρά πτωτική τάση, σε αντίθεση με την Ελλάδα και τον κόσμο, όπου η αύξηση της χρήσης του για παραγωγή ηλεκτρισμού είναι μεγάλη. Τέλος, άξια σχολιασμού είναι η αυξανόμενη τάση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η οποία ειδικά μετά το 2000 έχει διπλασιάσει σχεδόν τη δυναμικότητα της.

1.2.3 Κατανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

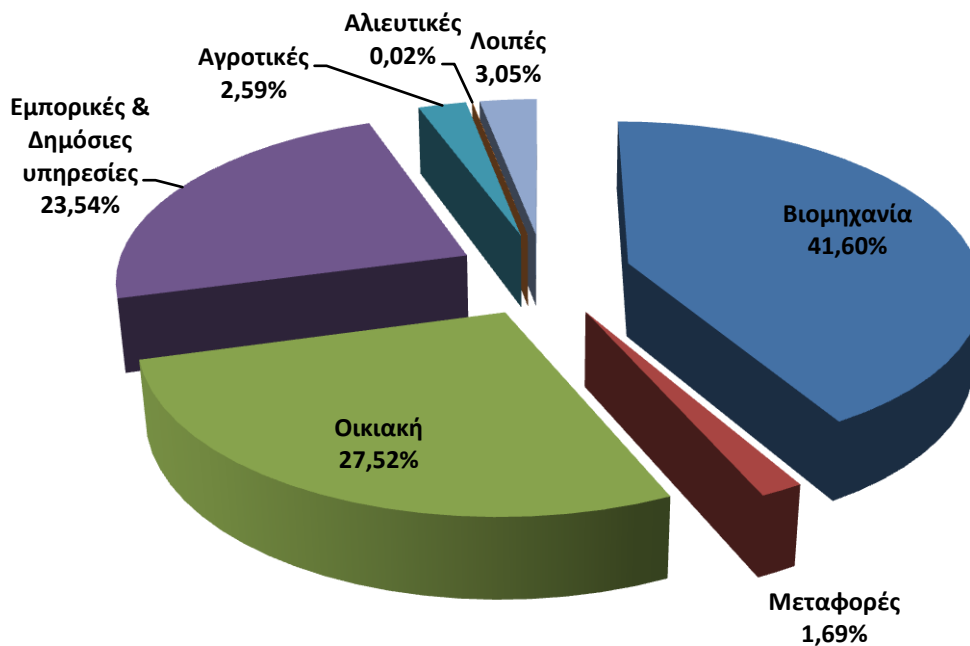
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στους διάφορους καταναλωτές.



Σχήμα 1.2.3α Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές στην Ελλάδα,[5]



Σχήμα 1.2.3β Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές στην Ε.Ε. των 27,[5]

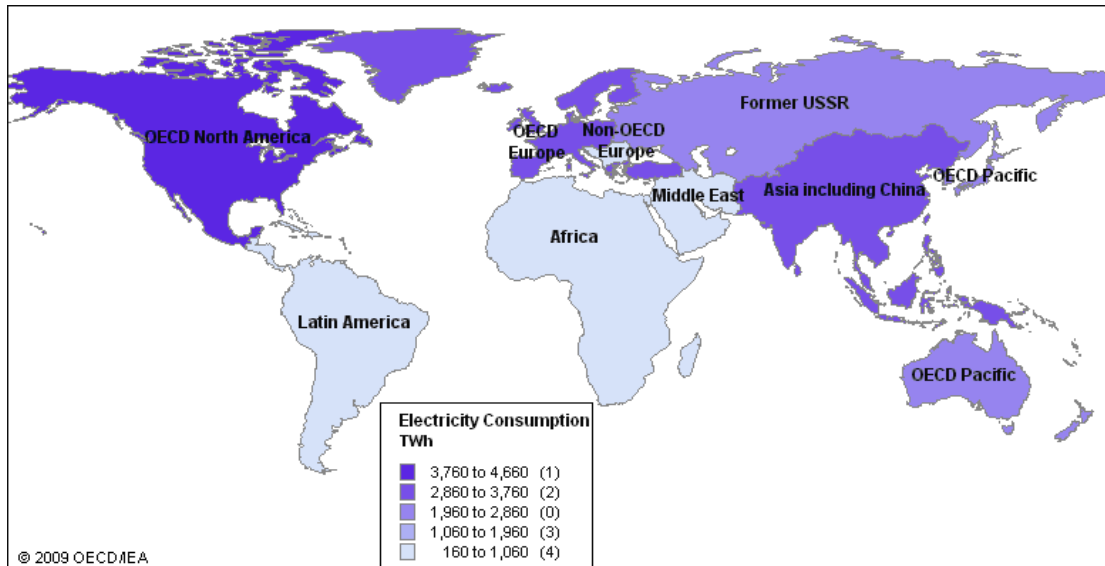


Σχήμα 1.2.3γ Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές στον κόσμο,[5]

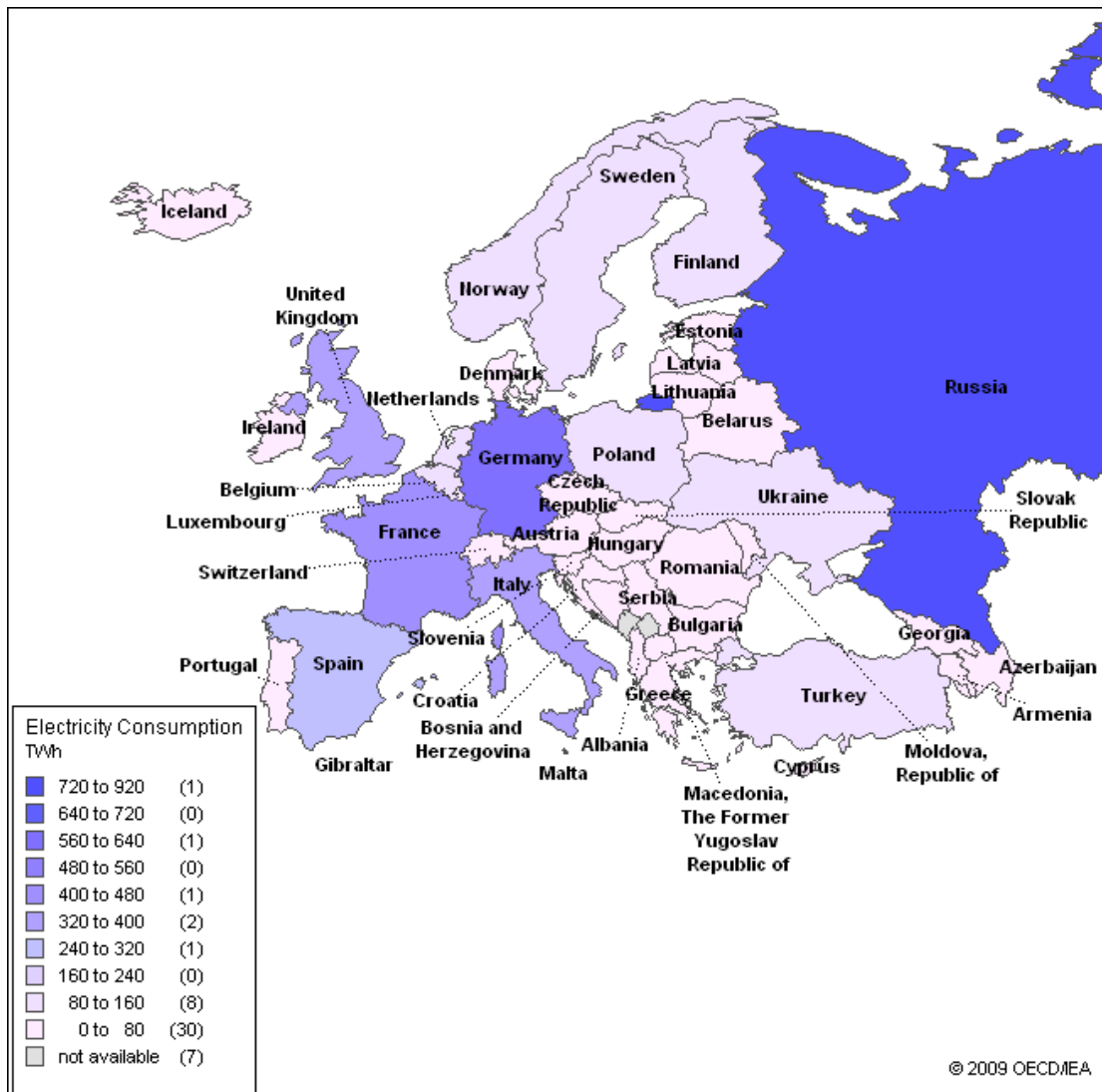
Στα σχήματα του καταμερισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρούμε πως η Ε.Ε. (σχήμα 1.2.3β) εμφανίζει ελάχιστη διαφορά από την αντίστοιχη παγκόσμια (σχήμα 1.2.3γ). Από την άλλη μεριά η Ελλάδα (σχήμα 1.2.3α) παρουσιάζει μια σημαντική διαφορά στην κατανάλωση ηλεκτρισμού στον τομέα της βιομηχανίας σε σχέση με την Ε.Ε. και τον κόσμο, γεγονός που δικαιολογείται πλήρως από την απουσία βαριάς βιομηχανίας στη χώρα. Αξιόλογο επίσης είναι το γεγονός πως οι μεταφορές στην Ελλάδα χρησιμοποιούν το ηλεκτρικό ρεύμα σε ποσοστό μόλις 0,41%, όταν στην Ε.Ε., όπως φαίνεται από το σχήμα 1.2.3β, είναι 2,63%.

1.2.4 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά την υφήλιο

Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη και παγκοσμίως.



Σχήμα 1.2.4α Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τον κόσμο,[5]



Σχήμα 1.2.4β Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά την Ευρώπη,[5]

Γίνεται άμεσα φανερό πως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι άμεσα συνυφασμένη με το πόσο αναπτυγμένη είναι η χώρα, αλλά και τον πληθυσμό της. Συνεπώς αρκετά ανεπτυγμένες χώρες ή χώρες με αυξημένο πληθυσμό καταλαμβάνουν τις πρώτες θέσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.2.4α η Αμερική ακολουθούμενη από την Ευρώπη και τη νότια Ασία, είναι οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ηλεκτρικού ρεύματος.

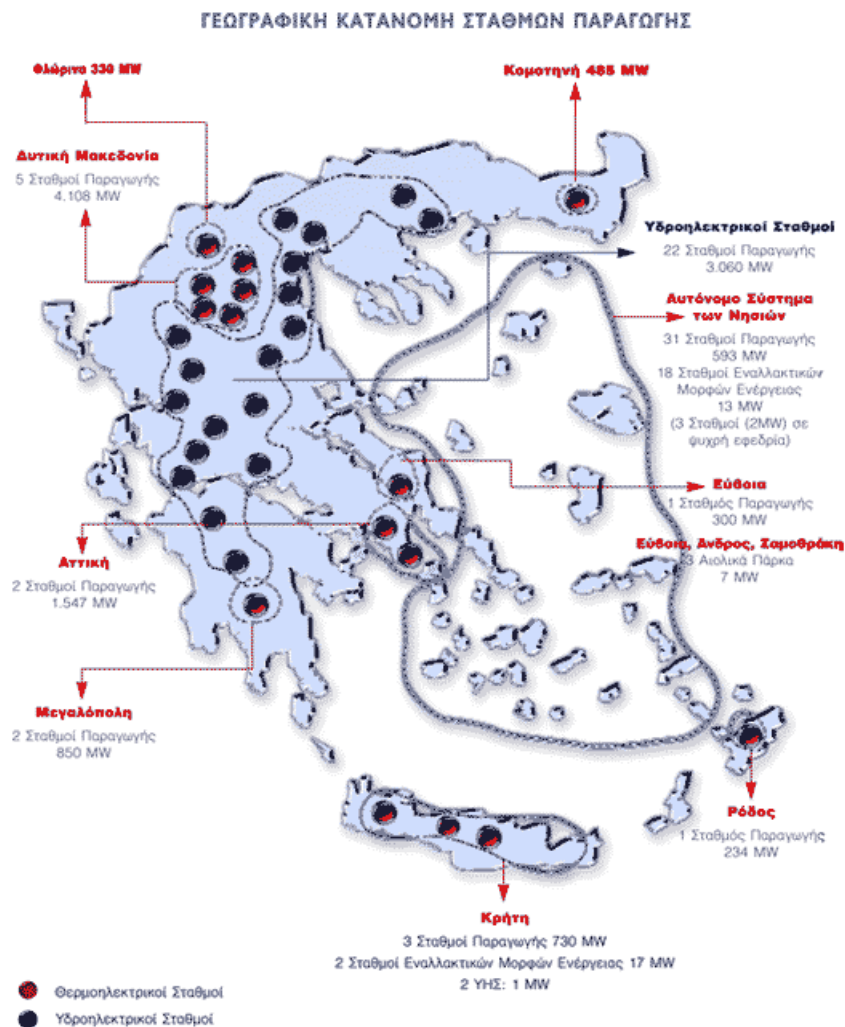
Όσον αφορά στην Ευρώπη (σχήμα 1.2.4β), παρατηρείται πως το πεδίο δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Αναπτυγμένες χώρες, όπως η Γερμανία, η Γαλλία, η Μεγάλη Βρετανία, η Ιταλία και η Ισπανία έρχονται πρώτες σε κατανάλωση ηλεκτρισμού. Την μεγαλύτερη όμως κατανάλωση ηλεκτρισμού σημειώνει η Ρωσία, λόγω του αυξημένου πληθυσμού της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από τη σχετική απομόνωση της θέσης του από τα άλλα ευρωπαϊκά συστήματα, την οξεία αύξηση της κατανάλωσης την τελευταία δεκαετία, την ύπαρξη μεγάλου αριθμού μικρών καταναλωτών στα νησιά και την καθοριστική εξάρτησή του από το λιγνίτη [6]. Το ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας διακρίνεται στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Ε.Δ.Σ.) και στο Νησιωτικό Σύστημα [7]. Οι κύριοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα φαίνονται στην εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1. Χάρτης σταθμών παραγωγής, [3]

Η Ελλάδα είναι μέλος της UCTE (Union for Coordination of Transmission of Electricity), και το διασυνδεδεμένο σύστημα λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το υπόλοιπο διευρωπαϊκό σύστημα μεταφοράς [3].

Οι 34 μεγάλοι θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί και τα 3 αιολικά πάρκα του διασυνδεδεμένου συστήματος της ηπειρωτικής χώρας καθώς και οι 61 αυτόνομοι σταθμοί Κρήτης, Ρόδου και λοιπών νησιών μας (39 θερμικοί, 2 υδροηλεκτρικοί, 15 αιολικά πάρκα και 5 φωτοβολταϊκοί σταθμοί) συνιστούν το βιομηχανικό κολοσσό της Δ.Ε.Η. που αποτελεί την ενεργειακή βάση κάθε οικονομικής δραστηριότητας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 98 συνολικά σταθμών της Δ.Ε.Η. ανέρχεται σήμερα στα 12.760 MW. Η καθαρή παραγωγή το 2007 έφτασε τις 53,09 TWh [3]. Στους πίνακες 2.1, 2.2 και 2.3 φαίνεται η ενεργειακή παραγωγή από Ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, αυτόνομους σταθμούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα.

Όνομα	Αριθμός Μονάδων	Καύσιμο	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Τοποθεσία
Άγ. Δημήτριος	5	Λιγνίτης	1.595	Κοζάνη
Αγ. Γεώργιος	2	Φυσικό αέριο	360	Κερατσίνι
Αθρινόλακκος	4	Diesel	195,20	Λασιίθι Κρήτης
Αλιβέρι	4	Μαζούτ	380	Εύβοια
Αμύνταιο	2	Λιγνίτης	600	Δυτ. Μακεδονία
Καρδιά	4	Λιγνίτης	1.250	Κοζάνη
Κομοτηνή	1	Φυσικό αέριο	485	Κομοτηνή
Λαύριο	5	Μαζούτ, Φυσικό αέριο	1.572	Λαύριο
ΛΙ.ΠΤΟΛ.	2	Λιγνίτης	43	Πτολεμαΐδα
Λινοπεράματα	12	Μαζούτ, Diesel	192,87	Ηράκλειο Κρήτης
Μεγαλόπολη	4	Λιγνίτης	850	Μεγαλόπολη
Πτολεμαΐδα	4	Λιγνίτης	620	Πτολεμαΐδα
Ρόδου	10	Μαζούτ, Diesel	234	Σορωνή
Φλώρινα	1	Λιγνίτης	330	Μελίτη, Αχλάδα
Χανιά	6	Diesel	321,22	Χανιά
		Σύνολο:	9.028,3	

Πίνακας 2.1. Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί Ελλάδας, [3]

Όνομα	Εγκατεστημένη Ισχύς (kW)	Μέγιστη Ζήτηση (kW)	Τροφοδοτούμενα νησιά
Αγαθονήσι	240	95	Αγαθονήσι
Αγ. Ευστράτιος	360	220	Αγ. Ευστράτιος
Αμοργός	2.650	2.190	Αμοργός
Ανάφη	355	340	Ανάφη
Αντικύθηρα	140	38	Αντικύθηρα
Αστυπάλαια	1.600	1.350	Αστυπάλαια
Δονούσα	210	150	Δονούσα
Ερεϊκούσα	270	195	Ερεϊκούσα
Ικαρία	6.900	5.400	Ικαρία
Κύθνος	2.300	1.960	Κύθνος
Λέσβος	49.500	45.700	Λέσβος
Λήμνος	8.900	11.700	Λήμνος
Μεγίστη	390	320	Μεγίστη
Μύκονος	21.200	17.500	Μύκονος
Οθωνοί	270	240	Οθωνοί
Πάτμος	4.380	3.580	Πάτμος
Σαμοθράκη	2.200	2.400	Σαμοθράκη
Σέριφος	2.000	1.900	Σέριφος
Σίφνος	4.300	3.360	Σίφνος
Σκύρος	4.500	3.750	Σκύρος
Σύμη	4.350	1.950	Σύμη
Σάμος	46.080	24.400	Σάμος - Φούρνοι
Χίος	38.780	29.800	Χίος - Ψαρά
Ψαρά*	345	-	
Άνδρος	9.400	9.300	Άνδρος - Τήνος
Θήρα	22.200	22.700	Θήρα - Θηρασιά
Ίος - Σίκινος- Φολέγανδρος	3.740	4.380	Ίος - Σίκινος- Φολέγανδρος
Κάλυμνος - Κως	69.600	57.300	Κάλυμνος - Λέρος - Λειψοί - Τέλενδος - Ψέριμος - Κως - Νίσυρος - Τήλος - Γυαλί
Κως**	60.500	-	
Νίσυρος*		-	
Κάρπαθος - Κάσος	9.000	6.500	Κάρπαθος - Κάσος
Μήλος	7.600	5.970	Μήλος - Κίμωλος
Πάρος	43.250	36.000	Πάρος - Νάξος - Αντίπαρος - Ηρακλεία - Σχοινούσα - Κουφονήσια
Σύνολο:	427,5 MW		

Πίνακας 2.2. Αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής Ελλάδας, [7]

*Ο σταθμός έπαυσε τη λειτουργία του και παραμένει σε εφεδρεία
 **Ο σταθμός λειτουργεί παράλληλα με τον ΑΣΠ Καλύμνου

Όνομα	Αριθμός Μονάδων	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Τοποθεσία
Άγρα	3	50	Έδεσσα
Ασώματα	2	108	Βέροια
Γκιώνα	1	8,5	Άμφισσα
Γλαύκος	2	3,7	Πάτρα
Εδεσσαίος	1	19	Έδεσσα
Θησαυρός	3	384	Δράμα
Καστράκι	4	320	Αγρίνιο
Κρεμαστά	4	437,2	Αγρίνιο
Λάδωνας	2	70	Τρόπαια
Λούρος	3	10,3	Φιλιππιάδα
Μακροχώρι	3	10,8	Βέροια
Πηγές Αωού	2	210	Μέτσοβο
Πλαστήρας	3	129,9	Καρδίτσα
Πλατανόβρυση	2	116	Δράμα
Πολύφυτο	3	375	Κοζάνη
Πουρνάρι	6	333,6	Άρτα
Στράτος	4	156,2	Αγρίνιο
Σφηκιά	3	315	Βέροια
	Σύνολο:	3057,2	

Πίνακας 2.3. Υδροηλεκτρικοί σταθμοί Ελλάδας, [3]

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα έχουν ξεκινήσει οι διαδικασίες για την ανάπτυξη 6 θερμοηλεκτρικών μονάδων συνολική ισχύος 3.700 MW που θα αντικαταστήσουν παλαιές μονάδες. Όλες οι νέες μονάδες παραγωγής κατασκευάζονται και λειτουργούν με βάση τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (Best Available Techniques/B.A.T.) με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x) και σκόνη και την ουσιαστική πλήρη σύγκλιση της περιβαλλοντικής επίδοσης μονάδων που χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα. Επίσης το 2008 ξεκίνησε η συνεργασία της Δ.Ε.Η. με την «Χαλυβουργική» για την κατασκευή 2 μονάδων συνδυασμένου κύκλου, με καύσιμο φυσικό αέριο, συνολικής ισχύος 880 MW, που θα συμβάλλουν σημαντικά στην ενίσχυση του νοτίου συστήματος της χώρας [9]. Στον πίνακα 2.4 φαίνονται αναλυτικότερα οι θερμοηλεκτρικές μονάδες τις οποίες προγραμματίζει να εγκαταστήσει η Δ.Ε.Η.

Όνομα	Καύσιμο	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Έτος λειτουργίας
Αλιβέρι V	Φυσικό αέριο	417	2010
Μεγαλόπολη V	Φυσικό αέριο	750-835	2012
Φλώρινα II	Λιγνίτης	450	2013
Πτολεμαΐδα V	Λιγνίτης	450	2014
Αλιβέρι IV	Λιθάνθρακας	700-800	2014
Λάρυμνα I	Λιθάνθρακας	700-800	2015

Πίνακας 2.4. Πρόγραμμα εγκατάστασης Ατμοηλεκτρικών μονάδων, [9]

Παράλληλα συνεχίζονται οι εργασίες ένταξης 5 υδροηλεκτρικών μονάδων συνολικής ισχύος 631 MW μέχρι το 2013 [9]. Αναλυτικότερα οι μονάδες αυτές φαίνονται στον πίνακα 2.5.

Όνομα	Μονάδα	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Έτος λειτουργίας
Μεσοχώρα	I, II	160	2010
Ιλαρίωνας	I, II	157	2011
Μετσοβίτικο	II	29	2011
Συκιά	I, II	125	2013
Πευκόφυτο	I, II	160	2013

Πίνακας 2.5. Πρόγραμμα εγκατάστασης υδροηλεκτρικών μονάδων, [9]

Για την κάλυψη των αναγκών της ενεργειακής επάρκειας των μη διασυνδεδεμένων νησιών έχει ξεκινήσει και υλοποιείται ένα ευρύτατο πρόγραμμα προσθήκης νέων σταθμών παραγωγής και της χρησιμοποίησης προσθέτων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (H/Z) [9]. Αναλυτικότερα, η κατασκευή νέων αυτόνομων σταθμών φαίνεται στον πίνακα 2.6.

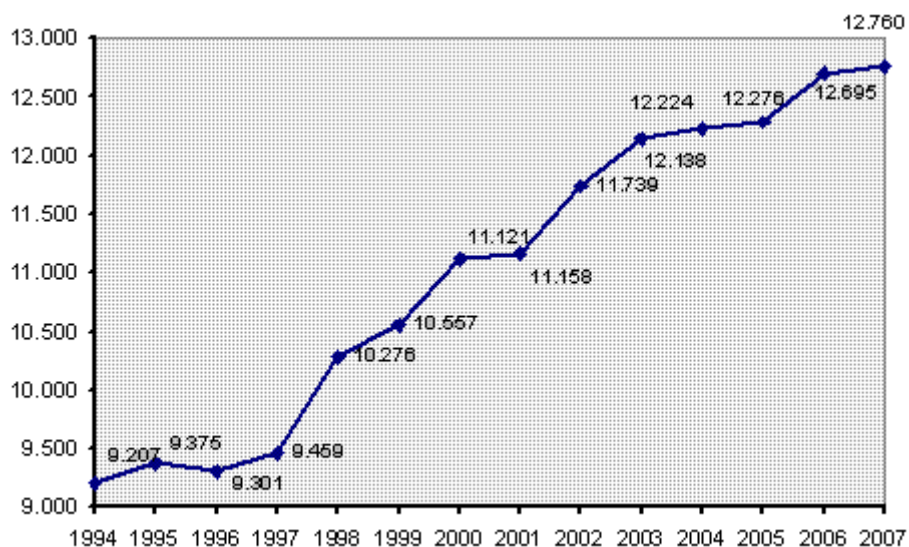
Όνομα	Καύσιμο	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Έτος λειτουργίας
Παλαιοί Γαληνοί, Κρήτη	Φυσικό αέριο, Diesel	250	2014
Παλαιοί Γαληνοί, Κρήτη	Φυσικό αέριο, Diesel	250	2014
Αθερινόλακκος, Κρήτη	Μαζούτ χαμηλού θείου / φυσικό αέριο (2016)	2 x 50	2011
Ρόδος	Μαζούτ χαμηλού θείου	120	2012
Λέσβος	Μαζούτ Χαμηλού θείου	120	2013

Πίνακας 2.6. Πρόγραμμα εγκατάστασης μονάδων στα νησιά, [9]

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαχρονική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα. Αρχικά, στον πίνακα 2.7 παρουσιάζεται η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ανά δεκαετίες από το 1950, όπου και ιδρύθηκε η ΔΕΗ, ενώ στην εικόνα 2.3 φαίνεται αναλυτικότερα η τελευταία δεκαετία.

Έτος	1953	1960	1970	1980	1990	2000	2007
Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	80	605	2.578	5.407	8.812	11.121	12.760

Πίνακας 2.7. Εγκατεστημένη ισχύς ανά δεκαετίες, [3]



Εικόνα 2.3. Εγκατεστημένη ισχύς την τελευταία δεκαετία, [3]

2.3. Ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας

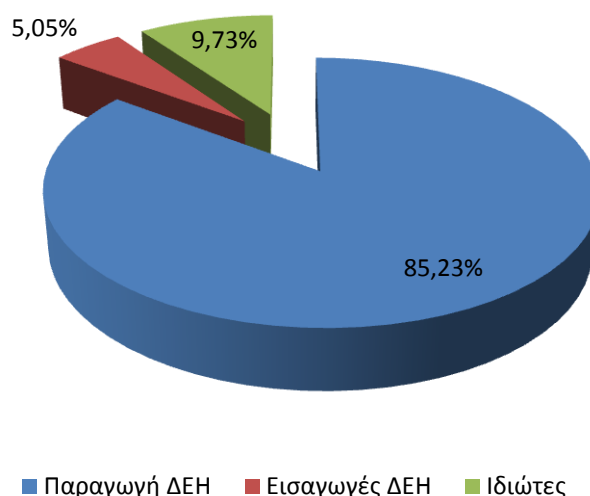
Από το Φεβρουάριο του 2001 ξεκίνησε η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (νόμος 2773/1999), στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο νόμος 2773/1999 ευθυγράμμιζε την ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 96/92 της Ευρωπαϊκής Ένωσης και προβλέπει τα εξής:

- Είσοδο στην αγορά ανεξάρτητων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, ανταγωνιστών της Δ.Ε.Η.
- Δυνατότητα πρόσβασης από τρίτους στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής
- Δυνατότητα των πελατών υψηλής και μέσης τάσης (σε πρώτη φάση άνω του 30% του συνόλου των πελατών) να επιλέγουν τον προμηθευτή τους
- Λογιστικό διαχωρισμό δραστηριοτήτων Παραγωγή – Μεταφορά – Διανομή – Ορυχεία
- Εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής που απαγορεύει σταυροειδείς επιδοτήσεις
- Προτεραιότητα πρόσβασης Α.Π.Ε. στο δίκτυο [10]

Ο νόμος 2773/1999 που παρέχει το πλαίσιο της νέας αγοράς και ρυθμίζει τα θέματα ενεργειακής πολιτικής, προέβλεψε τη δημιουργία μιας ανεξάρτητης διοικητικής αρχής, που θα έχει τη γενική εποπτεία του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Η Ρ.Α.Ε. φροντίζει, εισηγείται και προωθεί τον υγιή ανταγωνισμό και γνωμοδοτεί για τη χορήγηση των αδειών παραγωγής και προμήθειας σε φορείς της αγοράς. [10]

Επίσης ιδρύθηκε ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), ο οποίος ανέλαβε την ευθύνη της λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος απ' τους παραγωγούς στο δίκτυο. Ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. μεριμνά ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται με ασφάλεια και ποιότητα, εντάσσοντας στο σύστημα τις μονάδες παραγωγής της Δ.Ε.Η. και των ανεξάρτητων παραγωγών με τον πλέον συμφέρον οικονομικά τρόπο. Καθήκον του ακόμη είναι να τακτοποιεί λογιστικά την αγορά, να υπολογίζει δηλαδή με διαφάνεια και πιστότητα τις οφειλές της κάθε εταιρίας. [10]

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το έτος 2006, για το οποίο η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώθηκε στις 55,5 TWh [8], η κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού έγινε σύμφωνα με την εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4. Κάλυψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας το 2006, [8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

3.1 Εισαγωγή

Τα ορυκτά καύσιμα γενικά διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: υγρά (π.χ. υγραέριο, diesel, μαζούτ, βενζίνη, κηροζίνη), αέρια (π.χ. φυσικό αέριο, φωταέριο, αέριο πυρόλυσης) και στερεά (π.χ. τύρφη, φαιάνθρακες, λιθάνθρακες, βιομάζα, R.D.F.). Το είδος του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα καύσης καθορίζεται κυρίως από την τοπική διαθεσιμότητά του και καθορίζει τον τύπο του καυστήρα και του θαλάμου καύσης, το σύστημα επεξεργασίας του καυσίμου, τα συστήματα αντιρρυπαντικής προστασίας και το ύψος της επένδυσης. [11]

Κατά την καύση ενός καυσίμου, η χημική του ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Η θερμότητα η οποία προκύπτει από την καύση ενός kmol καυσίμου σε αδιαβατικές συνθήκες ονομάζεται θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου ($\frac{kJ}{kmol}$), ενώ χρησιμοποιούνται και οι μονάδες $\frac{kJ}{kg}$ και $\frac{kJ}{m^3}$. Η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα ενός καυσίμου (H_o), ορίζεται ως η αποδιδόμενη θερμότητα κατά την τέλεια καύση, με προϊόντα μόνο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O) και ο παραγόμενος υδρατμός έχει συμπυκνωθεί σε υγρή κατάσταση στους $25^\circ C$ έτσι ώστε να «αποδώσει» τη λανθάνουσα θερμότητα του. Εάν αντίθετα, ο υδρατμός δεν συμπυκνωθεί και εξέλθει σε αέρια μορφή, τότε η αποδιδόμενη θερμότητα ονομάζεται κατώτερη θερμογόνος ικανότητα (H_u). Είναι προφανές, ότι η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα είναι μεγαλύτερη της κατώτερης, κατά την λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης του υδρατμού που υπάρχει στα καυσαέρια. Στη βιομηχανική πράξη, τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα καύσιμα είναι το φυσικό αέριο, τα κλάσματα του πετρελαίου, ο άνθρακας και το ξύλο. [11]

3.2 Υγρά καύσιμα

Τα υγρά καύσιμα είναι προϊόντα της κλασματικής απόσταξης πετρελαιοειδών. Οι κυριότερες εμπορικές μορφές είναι το μαζούτ (βαρύ κλάσμα με κατώτερη θερμογόνος ικανότητα $40 \frac{MJ}{kg}$) και το diesel (ελαφρύτερο κλάσμα, κατώτερη θερμογόνος ικανότητα $43 \frac{MJ}{kg}$) και διαφέρουν ανάλογα με την επεξεργασία που έχουν υποστεί. Περιέχουν συνήθως ποσότητες άκαυστων συστατικών, τα οποία μεταφέρονται με τα καυσαέρια και είτε εναποτίθενται στις επιφάνειες εναλλακτών θερμότητας, είτε απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα υπό τη μορφή αιθάλης. [11]

Τα υγρά καύσιμα παρουσιάζουν περισσότερες δυσκολίες στη διαχείριση και την καύση από ότι τα αέρια. Απαιτείται η αποθήκευση τους σε κατάλληλες δεξαμενές, η άντληση τους μέχρι το σημείο χρήσης, ενώ συχνά είναι απαραίτητη και η προθέρμανσή τους. Για την επίτευξη της αποδοτικής καύσης, απαιτείται ο διαχωρισμός τους στον καυστήρα με κατάλληλο εξοπλισμό. Τα ελαφρύτερα κλάσματα ρέουν σχετικά εύκολα, αφού έχουν μικρό ιξώδες και διασκορπίζονται χωρίς προθέρμανση. Αντίθετα, τα βαρύτερα κλάσματα έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα και απαιτείται η θέρμανσή τους σε θερμοκρασίες της τάξης των 80 με 100°C, προκειμένου να εισέλθουν στον διασκορπιστή του καυστήρα. [11]

3.2.1 Μαζούτ

Ο όρος μαζούτ (προέρχεται από το γαλλικό mazout) ή πετρέλαιο εξωτερικής καύσης (fuel oil) αναφέρεται σε βαριά προϊόντα τα οποία είναι υπολείμματα της απόσταξης του αργού πετρελαίου. Γενικά, το μαζούτ είναι ένα μαύρο παχύρευστο σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας υγρό που χρησιμοποιείται κυρίως σαν καύσιμο σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ατμού ή ηλεκτρισμού. [12]

Στα πρώτα χρόνια της ιστορίας του πετρελαίου, το βασικό προϊόν ήταν η κηροζίνη που χρησιμοποιούνταν σε λάμπες φωτισμού. Το υπόλειμμα της ατμοσφαιρικής απόσταξης αρχικά πετιόταν. Γρήγορα όμως βρήκε χρήση σαν καύσιμο λεβήτων, αντικαθιστώντας την επικίνδυνη και αντιοικονομική χρήση αργού πετρελαίου. [12]

Τα μαζούτ, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα προϊόντα του αργού πετρελαίου είναι υπολείμματα απόσταξης κι όχι αποστάγματα. Τα μαζούτ είναι τα προϊόντα του διυλιστηρίου με τη χαμηλότερη τιμή πώλησης και με φθίνουσα ζήτηση με την πάροδο του χρόνου. Οι προδιαγραφές της αγοράς θέτουν περιορισμούς κυρίως στο ιξώδες και την περιεκτικότητα σε θείο. Τα βασικά συστατικά για την παρασκευή των μαζούτ είναι τα υπολείμματα από όλες τις διεργασίες. Η πιο συνήθης πρακτική είναι η ανάμιξη των βαρέων υπολειμμάτων με ελαφρά συστατικά, ώστε το τελικό προϊόν να έχει το επιθυμητό ιξώδες. Επίσης, επειδή το κόστος αποθείωσης των υπολειμμάτων είναι πολύ υψηλό και η τιμή του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή, για την παρασκευή μαζούτ χαμηλού θείου χρησιμοποιείται υπόλειμμα απόσταξης αργού πετρελαίου χαμηλού θείου. [12]

Στην Ελλάδα διατίθενται δύο τύποι μαζούτ, το No.1 και το No.3. Η διαφορά των δύο τύπων είναι η ρευστότητά τους. Το No.1 είναι χαμηλού ιξώδους και το No.3 υψηλού. Και οι δύο τύποι διατίθενται στην αγορά με δύο περιεκτικότητες σε θείο, χαμηλού θείου και υψηλού θείου. Οι δύο τύποι μαζούτ είναι γνωστοί στην αγορά και ως μαζούτ 1500 και μαζούτ 3500. Οι ονομασίες αυτές προέρχονται από την προδιαγραφή του ιξώδους τους σύμφωνα με τη μέθοδο Redwood, η οποία όμως δε

χρησιμοποιείται πλέον επίσημα. [12] Το M-1500 παρασκευάζεται από ανάμιξη diesel και M-3500.

3.2.2 Πετρέλαιο Diesel

Το πετρέλαιο Diesel ή πετρέλαιο εσωτερικής καύσης είναι σύνθετα μίγματα υδρογονανθράκων που σε ένα σύγχρονο διυλιστήριο παρασκευάζονται από την ανάμιξη των διαθέσιμων gas oil, με όρια απόσταξης γενικά στην περιοχή 250 έως 380°C. Χρησιμοποιούνται διάφορα ρεύματα του διυλιστηρίου, προερχόμενα κυρίως από τις μονάδες ατμοσφαιρικής απόσταξης, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και συστατικά από άλλες μονάδες, για αύξηση της παραγωγής του ντίζελ σε σύνθετα διυλιστήρια. [12]

Η εξέλιξη των πετρελαιομηχανών επιβάλλει για το πετρέλαιο diesel ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες που εξασφαλίζονται με τις αντίστοιχες προδιαγραφές κατά ISO 8217. Το καύσιμο αυτό οφείλει το όνομά του στο γεγονός ότι αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούνταν στις μηχανές diesel λόγω των ιδιοτήτων του:

- Του χαμηλού ιξώδους, που επέτρεπε καλύτερο διασκορπισμό
- Του υψηλού βαθμού καθαρότητας, που εξασφάλιζε καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα [13]

Ο αριθμός κετανίου αποτελεί τη σημαντικότερη ιδιότητα του ντίζελ. Χαρακτηρίζεται ως η ετοιμότητα του καυσίμου να αναφλεγεί όταν ψεκάζεται σε έναν κινητήρα ντίζελ. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξη. Ο αριθμός κετανίου είναι μια από τις βασικές προδιαγραφές των καυσίμων που συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών. [12]

Χρησιμοποιείται λοιπόν ως καύσιμο μηχανών diesel, όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που αποκλείουν τη χρήση βαρύτερων καυσίμων, που παράγονται με βάση το μαζούτ όπως:

- i. Υψηλή ταχύτητα περιστροφής
- ii. Μικρές ιπποδυνάμεις
- iii. Ευχέρεια προσαρμογής καύσεως στις απαιτήσεις φορτίου της μηχανής, όπου απαιτείται γρήγορη αυξομείωση της ισχύος της μηχανής, στην οποία μόνο το diesel μπορεί με ευχέρεια να ανταποκριθεί [13]

3.2.3 Ιδιότητες υγρών καυσίμων

I. Περιεκτικότητα σε θείο

Το θείο είναι ανεπιθύμητο επειδή κατά την καύση του μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου (SO_2) που είναι όξινο και διαβρωτικό, ενώ επίσης συμβάλλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Το πρόβλημα γίνεται οξύτερο όταν σχηματιστεί τριοξείδιο του θείου (SO_3) που με τους υδρατμούς των καυσαερίων γίνεται θειικό οξύ, που επιτείνει τα προβλήματα διάβρωσης, ενώ μειώνει και το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης επειδή τα καυσαέρια εγκαταλείπουν την εγκατάσταση σε υψηλή θερμοκρασία για να αποφευχθεί η συμπύκνωση των όξινων καυσαερίων. [12]

II. Θερμογόνος Δύναμη

Το θερμικό (ενεργειακό) περιεχόμενο είναι μια βασική ιδιότητα ενός καυσίμου. Είναι μια μέτρηση της ενέργειας που ελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται σαν ανώτερη και σαν κατώτερη, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση (υγρή και αέρια αντίστοιχα). Η διαφορά τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο. Η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου επηρεάζεται και από την περιεκτικότητά του σε θείο, νερό και τέφρα. [12]

III. Σημείο Ανάφλεξης

Το σημείο ανάφλεξης (flash point) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του καυσίμου με προσαγωγή όταν αυτό θερμαίνεται κάτω από πρότυπες συνθήκες. Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς, και αποτελεί την πρώτη ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά (βενζίνη). [12]

IV. Τέφρα

Τα υγρά καύσιμα μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες υλικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό τέφρας κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, καθώς και φθορά στις εγκαταστάσεις μεταφοράς θερμότητας. Η εναπόθεση τέφρας στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας εκτός από τη διάβρωση μειώνει και το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, άρα και την απόδοση της εγκατάστασης. [12]

3.3 Αέρια Καύσιμα – Φυσικό αέριο

Πρόδρομος του φυσικού αερίου στην Ελλάδα ήταν το φωταέριο. Το διέθεσε στην αγορά για πρώτη φορά το 1857 η Γαλλική Εταιρεία Φωταερίου, η οποία το 1939 περιήλθε στο Δήμο Αθηναίων. [14]

Το 1983 καταρτίζεται, για λογαριασμό της τότε Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου, η πρώτη μελέτη για την εισαγωγή του Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα, από τη Ρωσία και την Αλγερία. Το 1987 υπογράφεται η πρώτη διακρατική συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Ρωσίας για την προμήθεια φυσικού αερίου. Ακολουθούν συμφωνίες της Δ.Ε.Π. με την ρωσική Sojuzgazexport, σήμερα Gazprom-Export και με την αλγερινή Sonatrach. [14]

Με το νέο νομοθετικό πλαίσιο (Ν.3428/05) για την απελευθέρωση της αγοράς φυσικού αερίου, ιδρύθηκε η ανώνυμη εταιρεία με την επωνυμία «Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου Α.Ε. (Δ.Ε.Σ.Φ.Α. Α.Ε.)». Ο Δ.Ε.Σ.Φ.Α. αναλαμβάνει πλήρως τον έλεγχο του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου. Συγκεκριμένα, αποκτά πλήρες και αποκλειστικό δικαίωμα στη λειτουργία, διαχείριση, εκμετάλλευση και ανάπτυξη του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου. [14]

3.3.1 Χημική σύσταση

Με τον όρο φυσικό αέριο εννοούμε ένα μίγμα υδρογονανθράκων, το οποίο ανευρίσκεται είτε σε περιοχές παραγωγής φυσικού πετρελαίου, είτε σε περιοχές υπόγειων συσσωρεύσεων ανθρακούχων ουσιών. Το φυσικό αέριο αποτελείται από ελαφρούς υδρογονάνθρακες, εκ των οποίων η πλειονότητα είναι μεθάνιο, το οποίο συνυπάρχει με μικρότερες ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και με βαρύτερα παράγωγα αναφερόμενα συνήθως ως το κλάσμα C_5^+ . Επίσης περιέχει σχεδόν πάντοτε υδρατμούς, υδρόθειο, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα. Αν το φυσικό αέριο έχει κάποια συνάφεια προς παρακείμενο κοίτασμα φυσικού πετρελαίου, τότε περιέχει συνήθως αρκετό βουτάνιο, καθώς και βαρύτερους υδρογονάνθρακες (C_4^+), οπότε καλείται «υγρό αέριο», ενώ, εάν η πηγή του δεν γειτνιάζει προς φυσικό πετρέλαιο συνήθως το κλάσμα C_4^+ είναι περιορισμένο και το λαμβανόμενο φυσικό αέριο καλείται «ξηρό». [15] Η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του φυσικού αερίου κυμαίνεται από 30 έως 40 $\frac{MJ}{m^3}$. Συγκριτικά με άλλα καύσιμα παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως:

- Δε χρειάζεται εκτεταμένη επεξεργασία πριν τη χρήση
- Δεν απαιτεί αποθηκευτικούς χώρους, καθώς η παροχή από το δίκτυο διανομής είναι συνεχής

- Η καύση του είναι φιλική προς το περιβάλλον, αφού δεν παράγονται επικίνδυνοι ρύποι
- Αναμιγνύεται άμεσα με τον αέρα καύσης, χωρίς να απαιτείται διάταξη διασκορπισμού
- Έχει σχετικά υψηλή θερμογόνο ικανότητα
- Δεν περιέχει θείο (το οποίο είναι επικίνδυνο για το περιβάλλον και ισχυρά διαβρωτικό όταν μετατρέπεται σε θειικό οξύ – H₂SO₄)
- Είναι σχετικά φθηνό [11]

Το φυσικό αέριο παρουσιάζει αξιόλογο ενδιαφέρον, επειδή τα γνωστά αποθέματα του παγκοσμίως είναι γιγαντιαία, περίπου της τάξης των 4.000 τρισεκατομμυρίων κυβικών ποδιών, καθώς και διότι χαρακτηρίζεται ως μη ρυπογόνο καύσιμο με μεγάλη θερμογόνο δύναμη. Η διάθεσή του απαιτεί σχετική υποδομή, αλλά τα κοστολόγια της παροχής του είναι γενικώς χαμηλά και επιπροσθέτως είναι ευχερής η μεταφορά του με σωληνογραμμές επί της γης και με κατάλληλα πλοία δια θαλάσσης. Τέλος αποτελεί και επίλεκτη πρώτη ύλη παρασκευής πετροχημικών προϊόντων. [15]

Για τα φυσικά αέρια έχει οριστεί μια κατάσταση αναφοράς που καλείται “κανονική” κατάσταση και σε αυτή ανάγονται οι ποσότητές τους. Αυτή είναι οι 273,15K (0 °C) για τη θερμοκρασία και 1,01325 bar για την πίεση. Ο όγκος ενός κυβικού μέτρου αερίου σε κανονική κατάσταση αποτελεί ένα “κανονικό κυβικό μέτρο” αερίου (1Nm³). Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με σχετική πυκνότητα 0,55, συνεπώς σε περίπτωση διαρροής, διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα. [14]

Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15%. Δηλαδή, η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων. [14]

ΤΥΠΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (Περιεκτικότητα % κ.ο.)	ΡΩΣΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
Μεθάνιο (C ₁)	98	91,2
Αιθάνιο (C ₂)	0,6	6,5
Προπάνιο (C ₃)	0,2	1,1
Βουτάνιο (C ₄)	0,2	0,2
Πεντάνιο (C ₅) και βαρύτερα	0,1	-
Άζωτο (N ₂)	0,8	1
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0,1	-
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη	36 - 38,5 $\frac{MJ}{Nm^3}$	40,4 - 44,6 $\frac{MJ}{Nm^3}$

Πίνακας 3.3.1. Τυπική σύσταση εισαγόμενου φυσικού αερίου, [14]

3.3.2 Προμηθευτές φυσικού αερίου

Προμηθευτές της Δ.Ε.Π.Α. σε φυσικό αέριο είναι η ρωσική εταιρία Gazprom-Export (θυγατρική της Gazprom) και η αλγερινή Sonatrach, με συμβόλαια διάρκειας μέχρι το 2016 και 2020 αντίστοιχα που υπεγράφησαν το 1988. Η σύμβαση με την Gazprom-Export εξασφαλίζει την προμήθεια 2,8 δις m³ φυσικού αερίου, ετησίως. Η εισαγωγή του ρωσικού φυσικού αερίου στην Ελλάδα άρχισε το Σεπτέμβριο του 1996. [14]

Το αλγερινό αέριο μεταφέρεται υγροποιημένο με ειδικό δεξαμενόπλοιο στις εγκαταστάσεις της νήσου Ρεβυθούσας, στον κόλπο των Μεγάρων. Η σύμβαση με τη Sonatrach προβλέπει προμήθεια ποσότητας από 0,51 έως 0,68 δις. m³ αερίου ετησίως. Η εισαγωγή του αλγερινού φυσικού αερίου άρχισε τον Φεβρουάριο του 2000. [14]

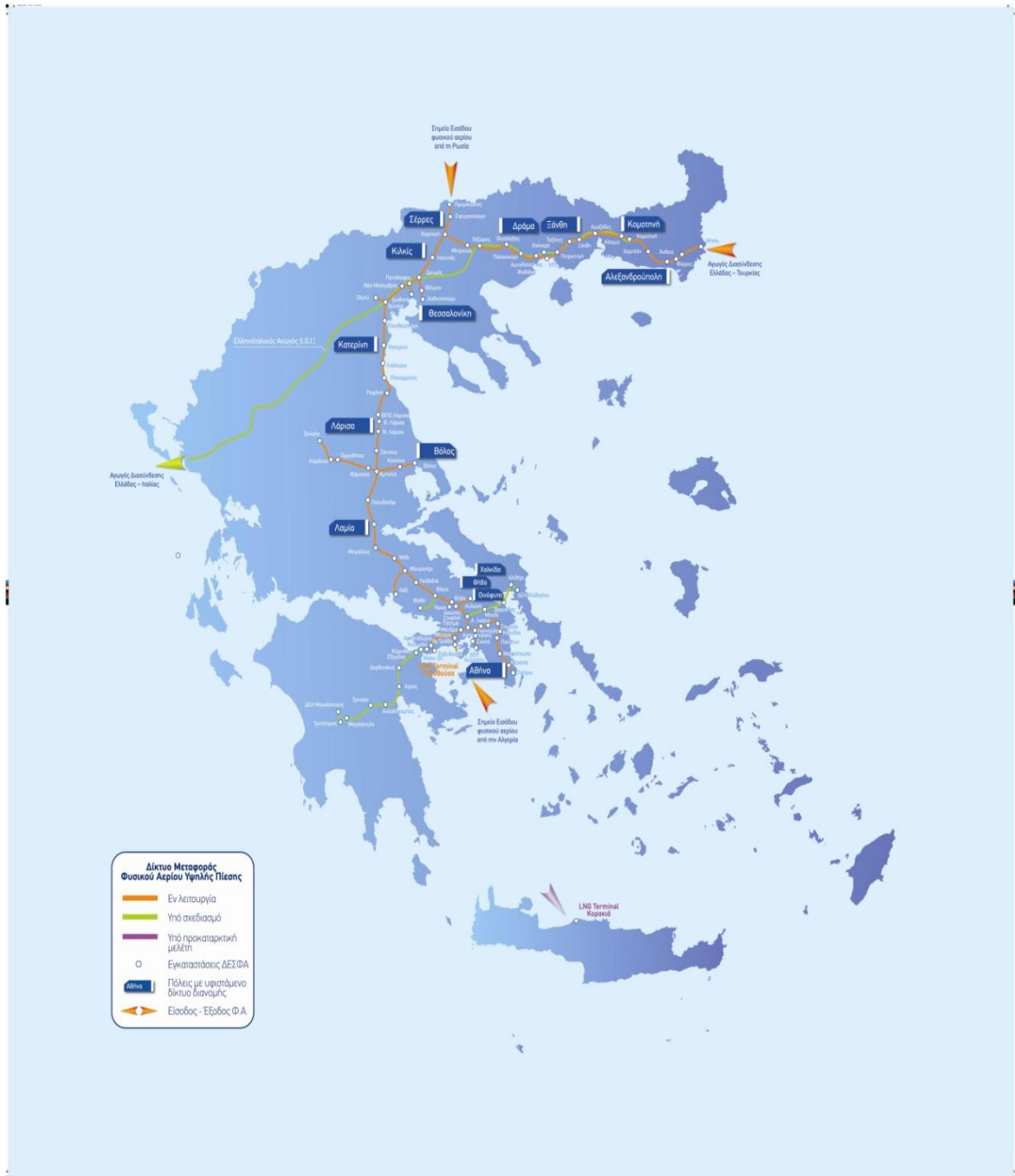
Στο πλαίσιο της αυξημένης ζήτησης φυσικού αερίου και της στρατηγικής που στοχεύει να καταστήσει τη χώρα ενεργειακό δίαυλο στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, η Δ.Ε.Π.Α. υπέγραψε το 2003 σύμβαση προμήθειας αερίου με την τουρκική εταιρία Botaş. Η σύμβαση αυτή προβλέπει αγορά 0,75 δις m³ φυσικού αερίου το χρόνο, για 15 χρόνια. Το αέριο παραδίδεται στην Ελλάδα μέσω των δικτύων διασύνδεσης φυσικού αερίου των δύο χωρών, με έναρξη το έτος 2007. [14]

3.3.3 Σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου

Τα σημεία εισόδου του συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου είναι τρία. Το πρώτο είναι στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα, από όπου εισέρχεται στον κεντρικό αγωγό φυσικό αέριο από τη Ρωσία. Το δεύτερο σημείο εισόδου είναι στα ελληνοτουρκικά σύνορα, όπου το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου διασυνδέεται με το τουρκικό σύστημα μεταφοράς. Το τρίτο σημείο εισόδου φυσικού αερίου βρίσκεται στη νήσο Ρεβυθούσα στον κόλπο Πάχης Μεγάρων, όπου υπάρχουν οι εγκαταστάσεις εκφόρτωσης, αποθήκευσης και επαναεριοποίησης του Υγροποιημένου φυσικού αερίου. [14]

Για τον εκσυγχρονισμό και την περιβαλλοντική αναβάθμιση του ηλεκτροπαραγωγικού δυναμικού της Κρήτης αποφασίσθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης, τον Δ.Ε.Σ.Φ.Α. και τη Δ.Ε.Η. η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κρήτης το έτος 2012, για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτροπαραγωγής καθώς και λοιπών ενεργειακών αναγκών της οικονομίας του νησιού. Το φυσικό αέριο θα ενταχθεί στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κρήτης με την ανάπτυξη τερματικού σταθμού εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στη θέση Κορακιά, στο βόρειο τμήμα του νησιού, στα όρια των Νομών Ρεθύμνης και Ηρακλείου. Παράλληλα με τις εργασίες ανάπτυξης του σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου, ο Δ.Ε.Σ.Φ.Α. θα προχωρήσει στην κατασκευή δικτύου μεταφοράς

φυσικού αερίου που θα συνδέσει την Κορακιά με το Σταθμό της Ξυλοκαμάρας στα Χανιά. [17] Το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ελλάδα φαίνεται στην εικόνα 3.3.1.



Εικόνα 3.3.1. Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού αερίου, [16]

3.3.4 Η παραγωγή ηλεκτρισμού με φυσικό αέριο

Η Δ.Ε.Η. αποτελεί τον πρώτο και μεγαλύτερο πελάτη της Δ.Ε.Π.Α., με ετήσια κατανάλωση που το 2006 ξεπέρασε τα 1,8 δισ. m³ φυσικού αερίου. Μέχρι σήμερα, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για το σταθμό Αγίου Γεωργίου Κερατσινίου και τους σταθμούς συνδυασμένου κύκλου στο Λαύριο και στη Κομοτηνή. Από το Φεβρουάριο του 2006 η Δ.Ε.Π.Α. τροφοδοτεί με φυσικό αέριο τη νέα μονάδα συνδυασμένου κύκλου Νο.5 του Λαυρίου, εγκατεστημένης ισχύος 377 MW. [14]

Το καλοκαίρι του 2004, συνδέθηκε στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου και λειτούργησε, ο πρώτος ιδιωτικός, εφεδρικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανοικτού κύκλου 148 MW, ο οποίος ανήκει στην εταιρία "ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ Α.Ε.". Η κατανάλωση του σταθμού το 2006 ανήλθε σε 5,3 εκατ. m³ φυσικού αερίου. [14]

Από το Μάιο του 2005, λειτουργεί και ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου ισχύος 390 MW της εταιρίας "ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Α.Ε." (ΕΝΘΕΣ) θυγατρικής των ΕΛΠΕ. Η κατανάλωση του συγκεκριμένου σταθμού για το 2006 ανήλθε σε 300 εκατ. Nm³. [14]

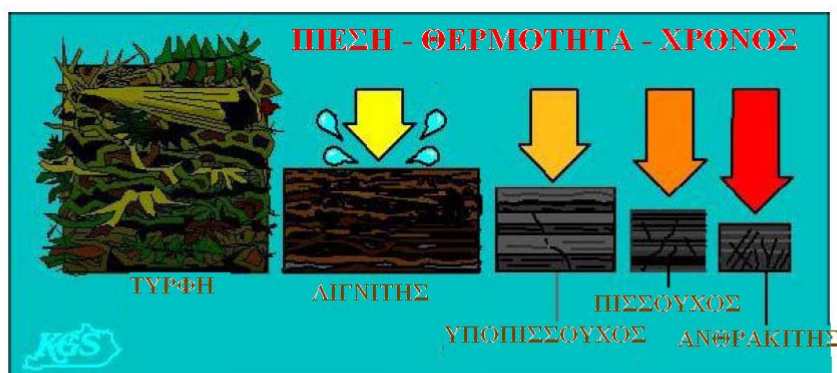
Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής αναμένονται σημαντικές εξελίξεις, καθώς η Δ.Ε.Η. έχει αποφασίσει την αντικατάσταση υπαρχουσών μονάδων με μονάδες φυσικού αερίου στο Αλιβέρι της Εύβοιας και στη Μεγαλόπολη ενώ εξετάζει και την εγκατάσταση μιας ακόμη μονάδας στο Κερατσίνι. Παράλληλα, ο όμιλος "ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε." προχωρεί στην κατασκευή ενεργειακού κέντρου στην περιοχή της Βοιωτίας που θα περιλαμβάνει μια μονάδα συμπαραγωγής με φυσικό αέριο ισχύος 334 MW για την κάλυψη των αναγκών της εταιρίας "ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ" και μιας ανεξάρτητης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με φυσικό αέριο ισχύος 420 MW. Ήδη ολοκληρώνεται ο διαγωνισμός του Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. για μια μονάδα ισχύος 300 MW στο νότιο σύστημα, ενώ μέχρι το 2012 αναμένεται η κατασκευή δύο ακόμα μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο φυσικό αέριο συνολικής ισχύος 600MW. [14]

Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου καθώς και την αύξηση της ζήτησης ηλεκτρισμού που αναμένεται στα προσεχή χρόνια, οδηγούν στην εκτίμηση ότι η κατανάλωση του φυσικού αερίου το 2010 θα φτάσει στα επίπεδα των 3,6-4 δισ. m³, στο συγκεκριμένο τομέα. [14]

3.4 Στερεά Καύσιμα

3.4.1 Λιγνίτης

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη, στο αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης και στον ανθρακίτη στο τελικό στάδιο ενανθράκωσης, είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων. [6] Τα στάδια της ανθρακοποίησης φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα 3.4.1.



Εικόνα 3.4.1. Σχηματισμός γαιανθράκων, [18]

Αναλυτικότερα, η διαδικασία ανθρακοποίησης ακολουθούσε τα επόμενα στάδια. Όταν τα φυτά ξεραίνονταν, έπεφταν στο φτωχό σε οξυγόνο νερό των βάλτων και σκεπάζονταν από λάσπη. Παράλληλα, λόγω καθιζήσεων και φερτών υλικών, τα φυτά καλύπτονταν με επιπλέον ιζηματογενείς αποθέσεις. Η αποσύνθεση των φυτών γινόταν σε περιβάλλον χωρίς αέρα και κάτω από πίεση, ενώ η παρουσία μικροοργανισμών υποβοηθούσε την αναερόβια ζύμωση. Κατά την διαδικασία της ενανθράκωσης, διέφυγε στην ατμόσφαιρα το οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο και κατά συνέπεια αυξανόταν το ποσοστό του άνθρακα στα

υπολείμματα. Αργότερα φύτρωνε καινούργια βλάστηση και ο κύκλος επαναλαμβανόταν.[4]

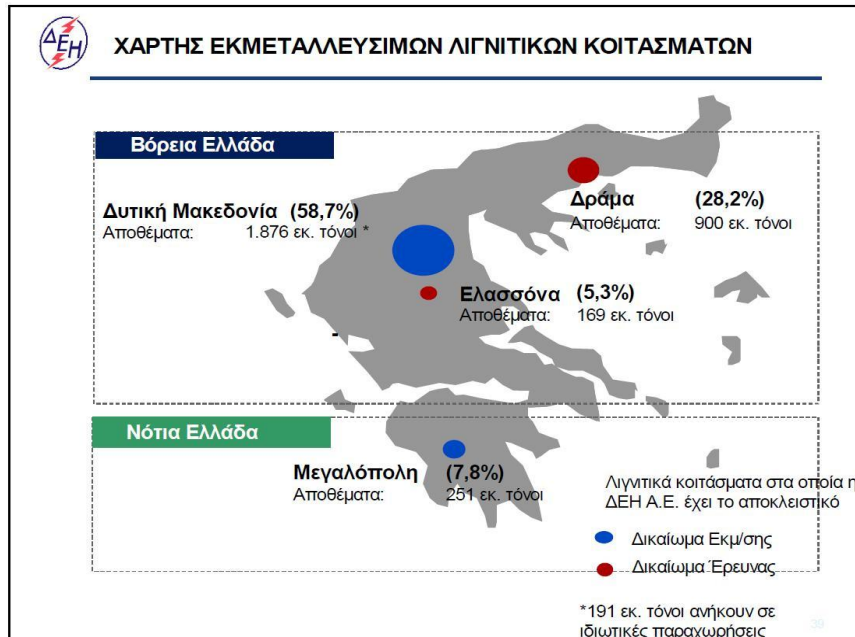
Οι λιγνίτες σχηματίστηκαν κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη. Για το σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη, έχει υπολογισθεί ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1.000 έως 4.000 ετών. Η θερμότητα δύναμη των λιγνιτών είναι από 3 έως 7 φορές χαμηλότερη από αυτήν του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερη από αυτήν του πετρελαίου. [6]

Η κύρια φάση λιγνιτογένεσης συμπίπτει με την Νεοτριτογενή και Τεταρτογενή γεωλογική περίοδο. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη αναπτύχθηκαν σε αβαθείς λίμνες και έλη κλειστών ενδοηπειρωτικών λεκανών. Κύριο χαρακτηριστικό των κοιτασμάτων είναι ο έντονος τεκτονισμός. [3]

3.4.2 Ορυχεία Λιγνίτη

Η συστηματική εκμετάλλευση του λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε από το υπόγειο λιγνιτωρυχείο Αλιβερίου το 1951. Η προσπάθεια σε μεγάλη κλίμακα συνεχίστηκε με το επιφανειακό λιγνιτωρυχείο της ΛΙ.ΠΤΟΛ. (εταιρεία ΜΠΟΔΟΣΑΚΗ) στη λεκάνη Πτολεμαΐδας το 1955. Το 1975 αποφασίστηκε, με νομοθετική ρύθμιση, η πλήρης ενσωμάτωση της ΛΙ.ΠΤΟΛ. στη Δ.Ε.Η.. Σήμερα η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην ευρύτερη λεκάνη της Πτολεμαΐδας ανήκει στην αρμοδιότητα του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (Λ.Κ.Δ.Μ.) που αποτελεί με βάση το προσωπικό την μεγαλύτερη Υπηρεσιακή Μονάδα της Δ.Ε.Η.. Το 1969 ξεκίνησε η ανάπτυξη του ενεργειακού Κέντρου Μεγαλόπολης, όπου εξορύσσεται και αξιοποιείται ο πιο φτωχός λιγνίτης σε παγκόσμιο επίπεδο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [19]

Σύμφωνα με το Ι.Γ.Μ.Ε. τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα ανέρχονται σήμερα σε 6,7 δις τόνους από τα οποία τα 3,3 δις τόνοι εκτιμώνται ως εκμεταλλεύσιμα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανομή των εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών αποθεμάτων στις περιοχές που έχει ολοκληρωθεί η έρευνα δίνεται στο χάρτη της εικόνας 3.4.2. [19]



Εικόνα 3.4.2. Λιγνιτικά κοιτάσματα, [19]

Τα παραπάνω αποθέματα με βάση τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης λιγνίτη επαρκούν για περίπου 40 ακόμη χρόνια στην περιοχή Δυτικής Μακεδονίας και 20 χρόνια στην περιοχή της Μεγαλόπολης. Πέραν των ανωτέρω περιοχών στις οποίες η Δ.Ε.Η. έχει αποκλειστικά δικαιώματα εκμετάλλευσης των λιγνιτικών κοιτασμάτων μέχρι εξάντλησής τους, η Δ.Ε.Η. έχει το αποκλειστικό δικαίωμα έρευνας στις περιοχές Ελασσόνας και Δράμας με εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά αποθέματα 169 εκατ. τόνους και 900 εκατ. τόνους αντίστοιχα. [19] Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 3.4.1 με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών Λιγνιτών.



Λιγνίτης



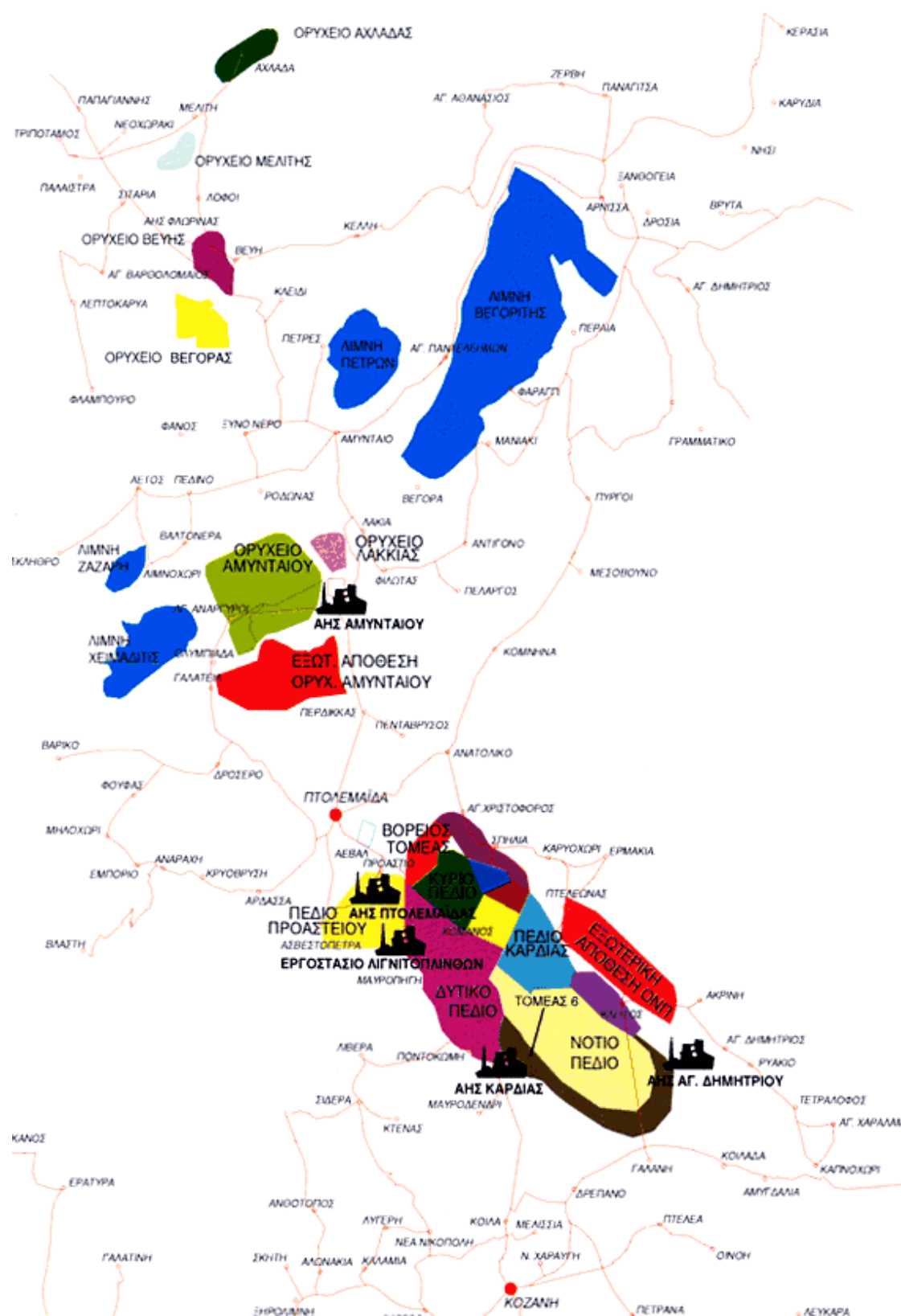
Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Περιοχή	Υγρασία (% κ.β.) ¹	Τέφρα (% κ.β.) ²	Κατ. Θ.Δ. (kcal/kg) ¹	Θείο (% κ.β.) ¹
Πτολεμαΐδα - Κοζάνη	52 – 58	30 – 36	1270 – 1300	0.5
Αμύνταιο	49 – 54	37 – 40	1145	0.5
Φλώρινα	40	34	1800 – 2500	> 1
Κόμνηνα	40 - 45	32	1500 – 1850	> 1
Μεγαλόπολης	56 – 60	38 – 45	950 – 1000	1.2 – 6
Δράμα	60	39	1000	0.6
Ελασσόνα	42	28	2300	0.65

¹ως έχει, ²επί ξηρού

Πίνακας 3.4.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά Ελληνικών Λιγνιτών, [20]

Η αποτύπωση του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 3.4.3.



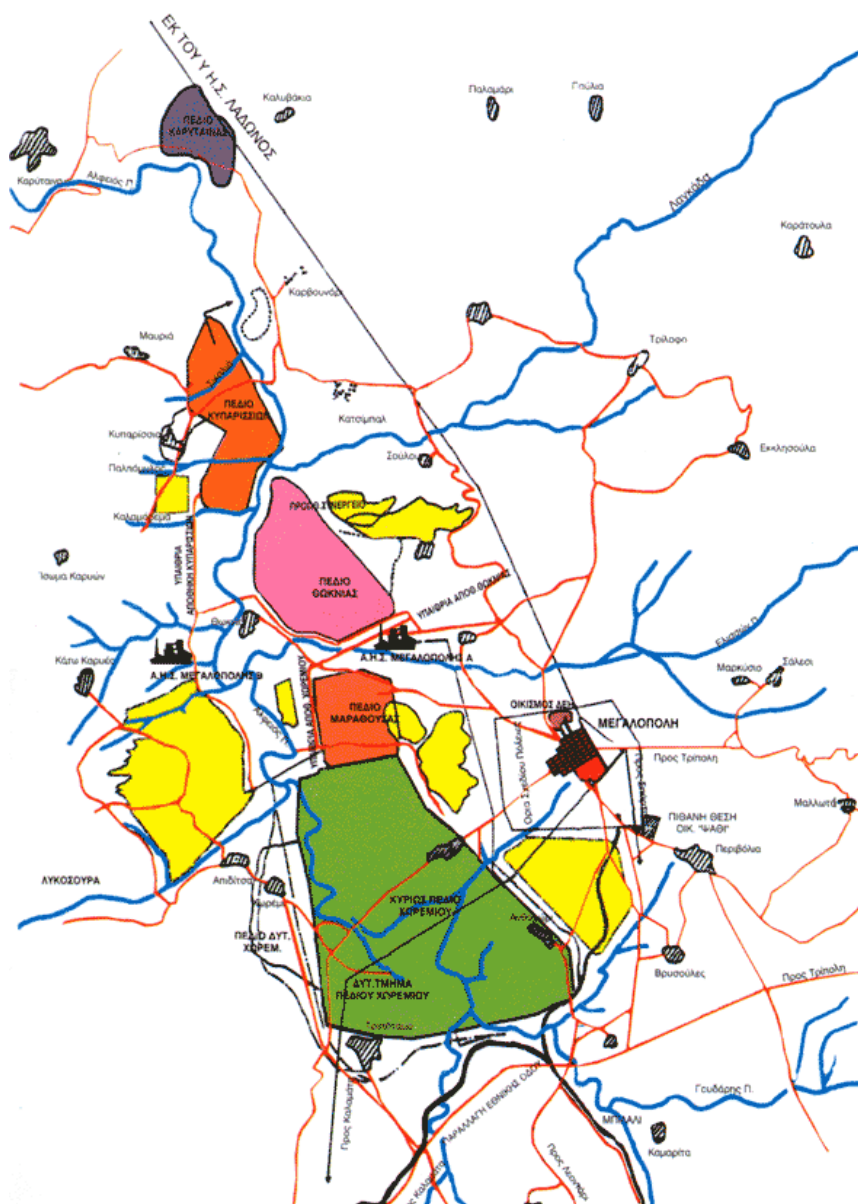
Εικόνα 3.4.3. Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας, [3]

Αναλυτικότερα τα ορυχεία του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας είναι τα εξής:

- Ορυχείο Κυρίου Πεδίου: Το ορυχείο αυτό, που περιλαμβάνει τις εκμεταλλεύσεις των κοιτασμάτων Βορείου Πεδίου, Κομάνου και Μαυροπηγής, έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 6-8 εκ. τόνους και καλύπτει τις ανάγκες του Α.Η.Σ. Πτολεμαΐδας και του Βιομηχανικού Συγκροτήματος της τέως ΛΙ.ΠΤΟΛ., συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 663 MW.
- Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς: το ορυχείο αυτό, που περιλαμβάνει στην παρούσα φάση την εκμετάλλευση του κοιτάσματος του Τομέα 6, έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 15-23 εκ. τόνους και καλύπτει τις ανάγκες του Α.Η.Σ. Καρδιάς, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.200 MW. Συμπληρωματικά συμμετέχει στην ισοσκέλιση του ισοζυγίου των Α.Η.Σ. της περιοχής Πτολεμαΐδας.
- Ορυχείο Νοτίου Πεδίου: το ορυχείο αυτό, που περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του λιγνιτικού κοιτάσματος Νοτίου Πεδίου, έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 18-22 εκ. τόνους και καλύπτει ανάγκες των 5 Μονάδων του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.585 MW.
- Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου: το ορυχείο αυτό, που περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του κοιτάσματος Αμυνταίου και Αναργύρων έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 8-9 εκ. τόνους και καλύπτει τις ανάγκες του Α.Η.Σ. Αμυνταίου-Φιλώτα, με εγκατεστημένη ισχύ 600 MW.
- Ορυχείο Αχλάδας (Φλώρινα): Το Νοέμβριο του 2001 η Δ.Ε.Η. ξεκίνησε τη διάνοιξη του πρώτου της ορυχείου στο μικρό κείτασμα Αχλάδας του Νομού Φλώρινας. Το ορυχείο αυτό (απόθεμα 2,5 εκ. τόνους) μαζί με τα ιδιωτικά λιγνιτωρυχεία της λεκάνης Φλώρινας καλύπτουν τις ανάγκες του νέου Α.Η.Σ. Μελίτης ισχύος 330 MW που ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2003. Διοικητικά το ορυχείο Αχλάδας ανήκει στο ορυχείο Αμυνταίου. [19]

Τα ορυχεία του Λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης, είναι τα ακόλουθα και φαίνονται στην εικόνα 3.4.4:

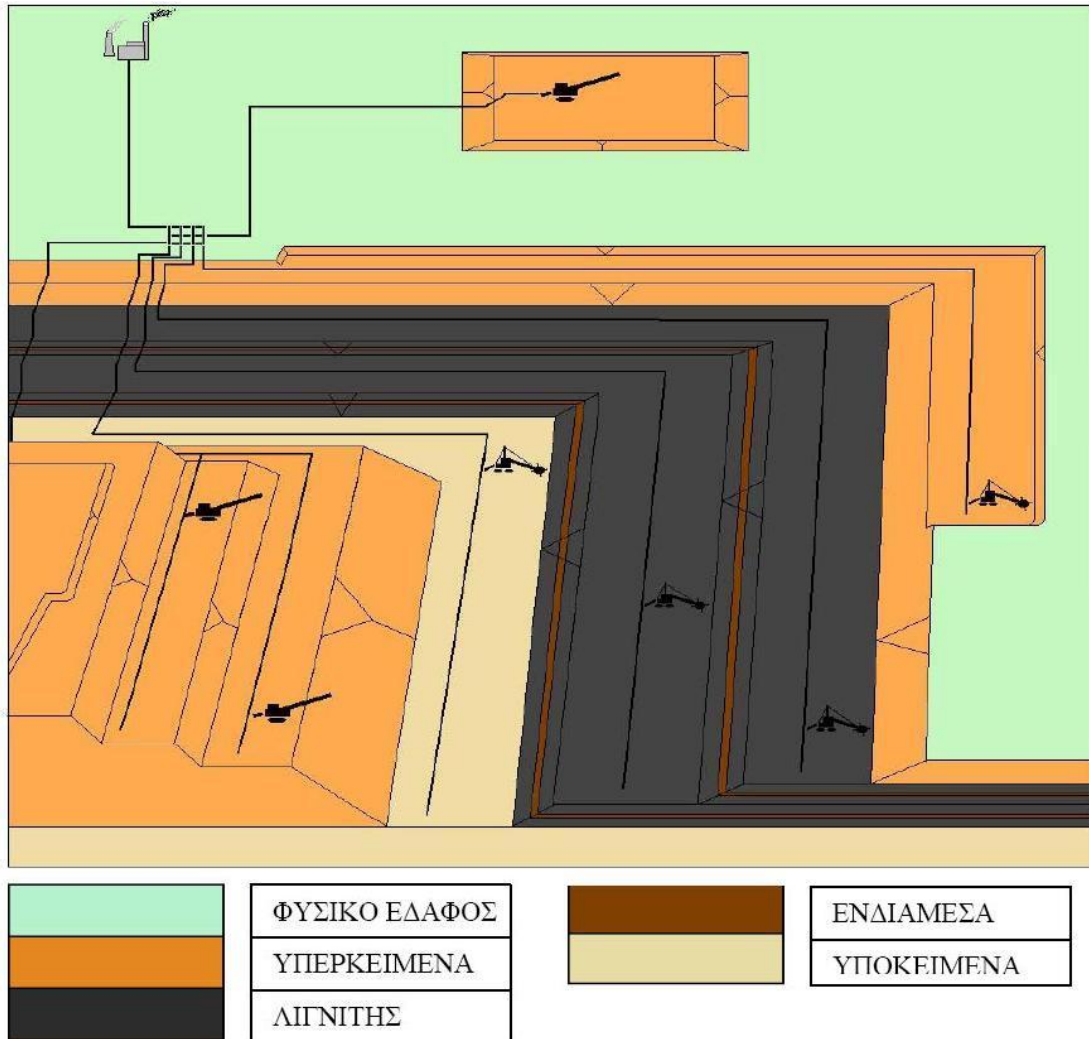
- Ορυχείο Χωρεμίου με δυνατότητα παραγωγής 9-12 εκ. τόνους
- Ορυχείο Μαραθούσας με δυνατότητα παραγωγής 1-2 εκ. τόνους
- Ορυχείο Κυπαρισίων με δυνατότητα παραγωγής 2-4 εκ. τόνους [19]



Εικόνα 3.4.4. Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης, [3]

Η Ελλάδα κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ε.Ε. και την έκτη θέση παγκοσμίως. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3,1 δις τόνους. Εξ αυτών η Δ.Ε.Η. έχει δικαιώματα εκμετάλλευσης που καλύπτουν ποσοστό της τάξεως του 60%. Το 2006 εξορύχτηκαν συνολικά 62,5 εκατομμύρια τόνοι. [8]

Για το έτος 2008 τα αντίστοιχα στοιχεία δίνονται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για τον Άνθρακα και τον Λιγνίτη (EUROCOAL) στην εικόνα 3.4.5, όπου η Ελλάδα παραμένει δεύτερη παραγωγός λιγνίτη στην Ε.Ε. (αν υποθέσουμε πως η Τουρκία δεν ανήκει στην Ε.Ε.), ενώ η εξόρυξη λιγνίτη για το ίδιο έτος ήταν 65,6 εκατομμύρια τόνοι.



Εικόνα 3.4.6. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης με συστήματα πολλών βαθμίδων -μέθοδος συνεχούς εξόρυξης- μεταφοράς-απόθεσης -κάτοψη, [19]

Τα μεν άγονα υλικά (υπερκείμενα ή ενδιάμεσα) μεταφέρονται στους αποθέτες, ο δε λιγνίτης μεταφέρεται στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή σε άλλους καταναλωτές ή σε υπαίθριες αποθήκες των λιγνιτωρυχείων. Η απόθεση των αγόνων υλικών γίνεται σε ειδικά επιλεγμένες περιοχές, όπου μεταφέρεται και η τέφρα, το υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη στους σταθμούς, [6] με χρήση μεγάλων ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων συνεχούς λειτουργίας που ονομάζονται αποθέτες. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων, γίνεται με τους ταινιόδρομους οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν συνεχώς σε μακρινές αποστάσεις μεγάλες ποσότητες υλικών. [4], όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 3.4.7.



Εικόνα 3.4.7. Μεταφορά λιγνίτη με ταινιόδρομους, [6]

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως κύριος εξοπλισμός ένα σύστημα συνεχούς λειτουργίας που αποτελείται από ηλεκτροκίνητους καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρομους και αποθέτες. [6] Εκτός από τον κύριο εξοπλισμό, η εξόρυξη και διαχείριση του λιγνίτη απαιτεί τη χρήση πολλαπλού εξοπλισμού όπως χωματοουργικά μηχανήματα, φορτωτές εκσκαφείς, φορτηγά κ.λ.π., τα οποία περιγράφονται με τον γενικό όρο "βοηθητικός εξοπλισμός". [4]

3.4.4 Τύρφη

Η τύρφη είναι ένα χαλαρό, οργανογενές (οργανικής προέλευσης) και οργανικό (οργανικής σύστασης) καύσιμο ίζημα, που σχηματίζεται με συσσώρευση περισσότερο ή λιγότερο αποσυντεθειμένων και χουμιωμένων φυτικών συστατικών στα έλη και σε συνθήκες έλλειψης ατμοσφαιρικού αέρα. Ο σχηματισμός και η απόθεση τύρφης αναφέρονται ως τυρφογένεση. Σε φυσική κατάσταση η περιεκτικότητα της τύρφης σε νερό είναι >75% κ.β. και σε ανόργανα συστατικά <50% κ.β. (στην ξηρή μάζα). Η τύρφη αποτελεί το αρχικό ίζημα, από το οποίο προέρχονται όλοι οι άλλοι γαιάνθρακες. [22]

Τα σημαντικότερα γνωστά κοιτάσματα τύρφης είναι αυτά των Φιλιππων (Αν. Μακεδονία), του Νησιού (Ν. Πέλλας), του Καλοδικίου (Ν. Θεσπρωτίας) και της Κορώνης (Ν. Πρέβεζας). Αναλυτικότερα:

- **Φίλιπποι:** Διακρίνονται δύο στιβάδες τυρφωδών στρωμάτων: η ανώτερη, που δεν περικλείει ενδιάμεσες αποθέσεις, έχει μέγιστο πάχος 68 m, μέση υγρασία 86%, κατώτερη θερμαντική ικανότητα (Κ.Θ.Ι.) 5.400 kcal/kg (επί ξηρής και ελεύθερης τέφρας τύρφης), και η κατώτερη στιβάδα με συνολικό μέγιστο πάχος 134 m, από τα οποία το αθροιστικό πάχος των οργανογενών αποθέσεων

ανέρχεται σε 98 m, μέση υγρασία 68% και Κ.Θ.Ι. 5.800 kcal/kg επί ξηρής και ελεύθερης τέφρας τύρφης).

Στους βαθύτερους ορίζοντες του κοιτάσματος η ενανθράκωση είναι εντονότερη με αποτέλεσμα η τύρφη να μεταπίπτει σε μαλακό λιγνίτη. Τα βέβαια γεωλογικά αποθέματα υπολογίστηκαν σε 4.300 Mm³, που αντιστοιχούν σε ένα δισεκατομμύριο τόνους τύρφης χωρίς υγρασία.

Στις αρχές της δεκατίας του '70 σχεδιάστηκε η εκμετάλλευση του ανώτερου τμήματος του κοιτάσματος μέχρι βάθους 13 m. Προβλεπόταν η εξόρυξη περίπου 360 Mm³, που αντιστοιχούν σε 75 Mt ξηρής τύρφης, ποσότητα ικανή να τροφοδοτήσει σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος 375 MW για 25 χρόνια. Το έργο εγκαταλείφτηκε εξαιτίας αντιδράσεων των κατοίκων της περιοχής. Αν βέβαια προχωρήσει η εξόρυξη του γειτονικού λιγνιτικού κοιτάσματος της Δράμας, τότε θα επανεξεταστεί το θέμα της εκμετάλλευσης του τυρφώνα Φιλίππων.

- Νησί: Το κοιτάσμα καταλαμβάνει έκταση 5 km² περίπου. Το πάχος της τύρφης κυμαίνεται μεταξύ 7 και 10 m. Η τυρφογένεση άρχισε κατά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Η τύρφη έχει υγρασία 80-90%, μέση τέφρα 28% (επί ξηρού) και Κ.Θ.Ι. 5.200 kcal/kg (επί ξηρού και χωρίς τέφρα). Τα βέβαια αποθέματα ανέρχονται σε 50 Mt. Η Δ.Ε.Η. σχεδίαζε παλιότερα την εγκατάσταση θερμοηλεκτρικού σταθμού στην περιοχή, το έργο όμως δεν προχώρησε.
- Καλοδίκι: Ο τυρφώνας βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νομού Θεσπρωτίας και καταλαμβάνει έκταση 2 km² περίπου. Η τυρφογένεση ξεκίνησε πριν από 30.000 χρόνια περίπου. Το μέσο πάχος της τύρφης είναι 3,5 m (μέγιστο 10,6 m), τα αποθέματα ανέρχονται σε 5,5 Mm³. Η υγρασία της τύρφης κυμαίνεται μεταξύ 75 και 88% και η τέφρα επί ξηρού μεταξύ 13 και 58%. Σκέψεις για εκμετάλλευση της τύρφης δεν υπάρχουν.
- Κορώνη: Ο τοπογενής τυρφώνας της Κορώνης σχηματίστηκε σε ένα επιμέρους τεκτονικό βύθισμα της ευρύτερης λεκάνης της Αχερουσίας. Η τύρφη έχει υγρασία 60-80%, τέφρα 25-39% και Κ.Θ.Ι. 5.100 kcal/kg (επί ξηρού και χωρίς τέφρα). Τα βέβαια αποθέματα ανέρχονται σε 3,6 Mt και τα τεχνικά και οικονομικά απολήψιμα σε 2,9 Mt. Λόγω του μικρού μεγέθους του κοιτάσματος και της μεγάλης απόστασης από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια προτάθηκε – αλλά ουδέποτε υλοποιήθηκε – η χρησιμοποίηση της τύρφης σε γεωργικές εφαρμογές. [22]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (Α.Η.Σ.)

4.1.1 Εισαγωγή

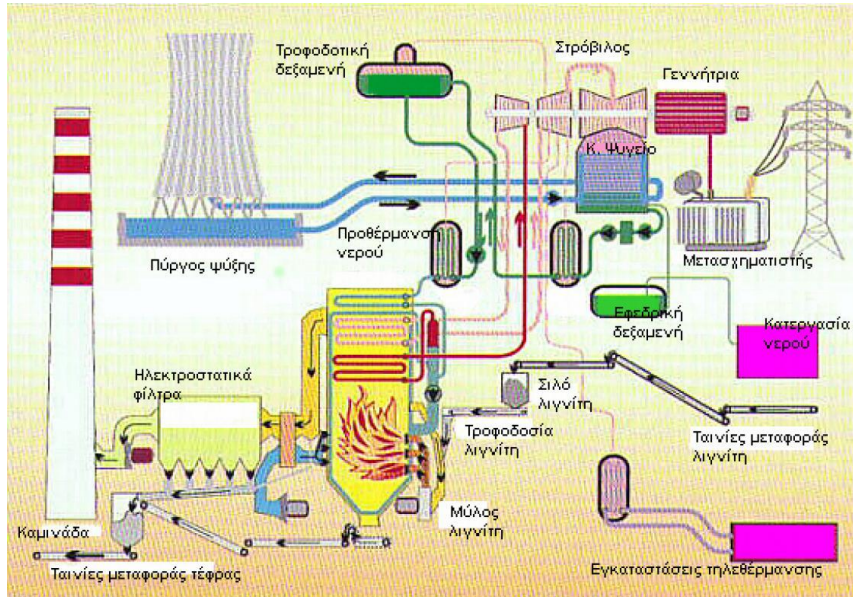
Τα κύρια μέρη ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού είναι ο ατμοπαραγωγός, οι ατμοστρόβιλοι συζευγμένοι με τις γεννήτριες, ο συμπυκνωτής ατμού (ψυγείο), το σύστημα προθέρμανσης νερού, το σύστημα προθέρμανσης αέρα, οι διατάξεις φίλτρων και άλλα συστήματα, ανάλογα και με το καύσιμο, το οποίο εκμεταλλεύονται.

Η μέγιστη ισχύς μιας μονάδας Α.Η.Σ. ξεπερνά σήμερα τα 1.000 MW. Ο βαθμός απόδοσης έχει ξεπεράσει το 43%. Ως καύσιμα χρησιμοποιούνται κυρίως λιθάνθρακες, φαιάνθρακες, βαρύ πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Συναντώνται κυρίως σαν μονάδες βασικού φορτίου (άνω των 5.000 ωρών λειτουργίας ετησίως), αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν μονάδες μεσαίου φορτίου (μεταξύ 2.000 και 5.000 ωρών λειτουργίας ετησίως) και φορτίου αιχμής (μεταξύ 500 και 2.000 ωρών λειτουργίας ετησίως). [23]

Η θερμική ενέργεια που εκλύεται από την καύση του καυσίμου, ατμοποιεί το νερό στο λέβητα της μονάδας με συνέπεια τη δημιουργία υπέρθερμου ατμού. Ο υπέρθερμος ατμός εκτονώνεται στο στρόβιλο υψηλής πίεσης όπου και παράγεται ενέργεια. Στη συνέχεια, ο ατμός οδηγείται εκ νέου στο λέβητα προκειμένου να αναθερμανθεί, να αυξηθεί δηλαδή η θερμοκρασία του και ακολούθως εκτονώνεται στο στρόβιλο μέσης και χαμηλής πίεσης όπου παράγεται επιπλέον ενέργεια. Κατόπιν, ο ατμός εισέρχεται στο ψυγείο της μονάδας όπου συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού. Το συμπύκνωμα πλέον με τη βοήθεια αντλιών προθερμαίνεται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας και οδηγείται μέσω αντλιών και πάλι στο λέβητα ολοκληρώνοντας έναν θερμικό κύκλο. [4]

Η θερμική ενέργεια που απάγεται από το ψυκτικό νερό αποβάλλεται στον πύργο ψύξης, όπου με τη μέθοδο του καταιονισμού χάνεται μια ποσότητα νερού με τη μορφή ατμού και σταγονιδίων. Ο άξονας του στροβίλου, ο οποίος περιστρέφεται με 3000 στρ. /λεπτό, είναι συνδεδεμένος με τη γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα καυσαέρια πριν την έξοδο τους στο περιβάλλον διέρχονται από διατάξεις κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Στα φίλτρα αυτά, τα σωματίδια εκτίθενται σε συνεχές

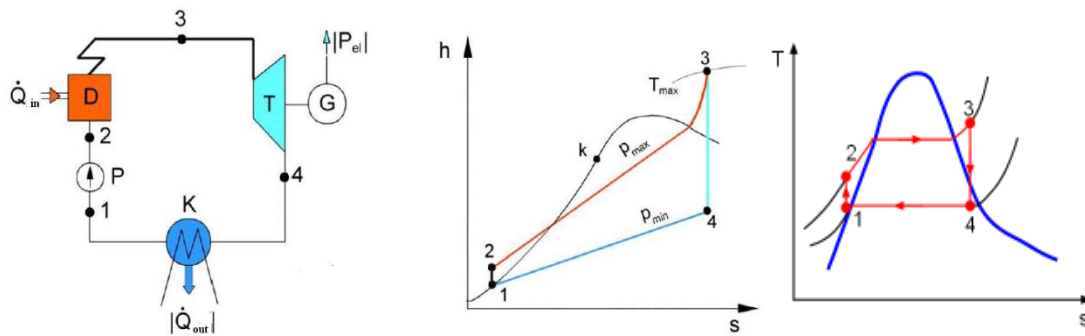
ηλεκτρικό πεδίο υψηλής τάσης, μετατρέπονται σε ιόντα και τελικά συλλέγονται στα φίλτρα. [4] Η παραπάνω περιγραφόμενη διαδικασία αποτυπώνεται στην εικόνα 4.1.1., όπου το καιόμενο καύσιμο είναι λιγνίτης, όπως στην πλειονότητα των Α.Η.Σ. στην Ελλάδα.



Εικόνα 4.1.1. Διάγραμμα λειτουργίας Α.Η.Σ.

4.1.2 Θερμοδυναμικός κύκλος Clausius – Rankine

Η πλέον απλοποιημένη μορφή ενός Α.Η.Σ. και ο αντίστοιχος κύκλος Rankine σε διάγραμμα $h-s$ και $T-s$ αντίστοιχα, φαίνονται στην εικόνα 4.1.2.



Εικόνα 4.1.2. Απλοποιημένη μορφή Α.Η.Σ. και διαγράμματα Rankine σε $h-s$ & $T-s$

Περιγράφοντας σύντομα τον απλοποιημένο κύκλο Rankine, η πίεση του τροφοδοτικού νερού (θέση 1) αυξάνεται μέσω της τροφοδοτικής αντλίας (εξοπλισμός P) και οδηγείται στον ατμοπαραγωγό (θέση 2). Στον ατμοπαραγωγό (εξοπλισμός D) το νερό θερμαίνεται, ατμοποιείται και τελικώς υπερθερμαίνεται (θέση 3), μέσω της προσδιδόμενης θερμότητας (Q_{in}) με χρήση καυσίμων. Από τον ατμοπαραγωγό με μια σειρά ασφαλιστικών οργάνων και βαλβίδων ρύθμισης, ο παραγόμενος υπέρθερμος ατμός οδηγείται στον ατμοστρόβιλο (εξοπλισμός T), όπου εκτονώνεται αποδίδοντας μηχανική ενέργεια, η οποία μέσω της συζευγμένης

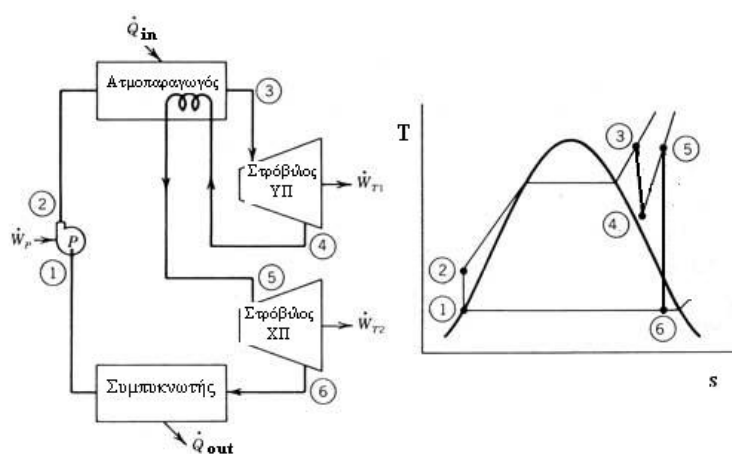
γεννήτριας (εξοπλισμός G) μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (P_{el}). Ο ατμός, που εξέρχεται από τον ατμοστρόβιλο (θέση 4), εισάγεται στον συμπυκνωτή (εξοπλισμός K), όπου ψύχεται και υγροποιείται, αποβάλλοντας ένα σημαντικό ποσό θερμότητας (Q_{out}), το οποίο αποτελεί και τη μεγαλύτερη απώλεια των Α.Η.Σ..

4.1.3 Βελτιώσεις θερμοδυναμικού κύκλου Clausius – Rankine

Γνωρίζοντας πως ο θερμικός κύκλος με τη μέγιστη απόδοση είναι ο κύκλος Carnot, οι βελτιώσεις που έχουν γίνει στον κύκλο Clausius – Rankine, έχουν στόχο να προσεγγίσουν το θερμικό βαθμό απόδοσης του κύκλου Carnot, αυξάνοντας την αρχική και μειώνοντας την τελική θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου. Τα μέτρα τα οποία είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν στην περίπτωση του κύκλου του ατμού είναι:

1. Ενδιάμεση αναθέρμανση εργαζόμενου μέσου

Μέσω της ενδιάμεσης αναθέρμανσης του ατμού, επιτυγχάνεται η αύξηση του προσφερόμενου ποσού θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο, χωρίς την ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας του, που θα είχε ως συνέπεια τη μείωση της αντοχής των υλικών του ατμοστρόβιλου. [23] Η αναθέρμανση ατμού υλοποιείται όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 4.1.3. Ο υπέρθερμος ατμός (θέση 3) εκτονώνεται σε ένα πρώτο ατμοστρόβιλο (θέση 4), ο οποίος καλείται ατμοστρόβιλος Υψηλής Πίεσης (ΥΠ), μέχρι μια ορισμένη πίεση. Στη συνέχεια ο ατμός επανέρχεται στον ατμοπαραγωγό και αναθερμαίνεται, μέχρι την αρχική θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού και οδηγείται ακολούθως στον ατμοστρόβιλο Μέσης (ΜΠ) ή Χαμηλής Πίεσης (ΧΠ) (θέση 5), όπου εκτονώνεται μέχρι την τελική πίεση συμπύκνωσης (θέση 6).



Εικόνα 4.1.3. Ενδιάμεση αναθέρμανση εργαζόμενου μέσου

Βασική προϋπόθεση για την αύξηση του βαθμού απόδοσης είναι η εκλογή της κατάλληλης πίεσης για την αναθέρμανση. Η πίεση αυτή ευρίσκεται συνήθως στην περιοχή των 20-40 bar και εξαρτάται από διάφορα μεγέθη, όπως πίεση και

θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού, πίεση συμπύκνωσης, προθέρμανση τροφοδοτικού νερού κ.α.. Ένα επιπλέον σπουδαίο επακόλουθο της αναθέρμανσης είναι και ο περιορισμός της τελικής υγρασίας του ατμού, η οποία δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στις τελευταίες βαθμίδες πτερυγίων των ατμοστροβίλων. Μια μέση τομή επιτρεπόμενης υγρασίας είναι περίπου 10-12%. [23] Είναι δυνατόν να εφαρμοστούν περισσότερες από μια αναθερμάνσεις. Στην πράξη όμως η αύξηση του κόστους κεφαλαίου και της πολυπλοκότητας της εγκατάστασης αντισταθμίζουν το κέρδος της προσφερόμενης αύξησης απόδοσης, με συνέπεια να μη συναντώνται περισσότερες των δύο αναθερμάνσεων. [24]

2. Προθέρμανση τροφοδοτικού νερού με απομαστεύσεις ατμού

Για την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας του ατμοπαραγωγού λαμβάνεται βαθμηδόν ποσότητα ατμού από απομαστεύσεις του ατμοστροβίλου. Αξιοποιείται έτσι η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, η οποία θα προσδιδόταν στο νερό ψύξης. Λόγω της προθέρμανσης του τροφοδοτικού νερού με ατμό απομάστευσης προκύπτει μικρότερη ποσότητα ατμού συμπύκνωσης στην έξοδο του στροβίλου, συνεπώς απαιτούνται μικρότερες ποσότητες νερού ψύξης και μειώνονται οι απώλειες θερμότητας που προέρχονται από την απαγωγή της λανθάνουσας θερμότητας ατμού από το ψυκτικό νερό. [23] Η υλοποίηση του κύκλου απομάστευσης και προθέρμανσης υλοποιείται με διαφορετικές διατάξεις, όσον αφορά στον τρόπο διαχείρισης του απομαστευόμενου ατμού και των συμπυκνωμάτων. Οι δύο βασικοί τύποι προθερμαντών είναι:

- i. Προθερμαντές ανοιχτού τύπου, όπου αναμιγνύουν τον απομαστευόμενο ατμό με το τροφοδοτικό νερό
- ii. Προθερμαντές κλειστού τύπου, όπου ο απομαστευόμενος ατμός ρέει σε χωριστούς σωλήνες από το τροφοδοτικό νερό. [24]

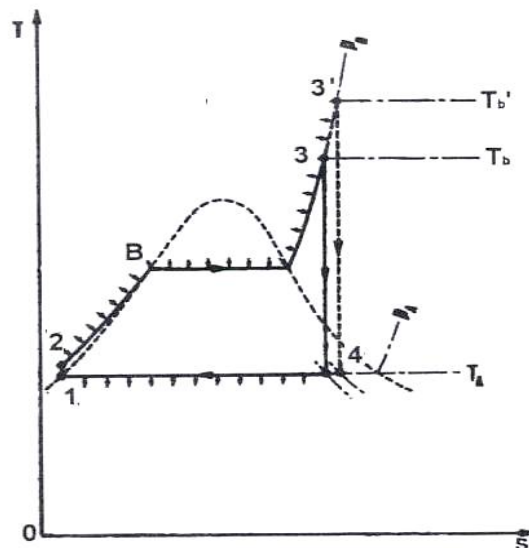
Ο εκάστοτε τύπος προθερμαντή συνεπάγεται και μια διαφορετική διάταξη του κύκλου στο τμήμα προετοιμασίας του νερού τροφοδοσίας, η οποία αναλύεται στην αντίστοιχη παράγραφο.

3. Αύξηση θερμοκρασίας τροφοδοσίας υπέρθερμου ατμού

Η μεταβολή του κύκλου Rankine όταν αυξάνεται η θερμοκρασία στην είσοδο του ατμοστροβίλου, φαίνεται στην εικόνα 4.1.4. Διατηρώντας τη θερμοκρασία απόρριψης θερμότητας (θέση 4) σταθερή, η μέση θερμοκρασία πρόσδοσης θερμότητας αυξάνεται (από τη θέση 3 στη θέση 3'), με αποτέλεσμα την αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης του κύκλου. [24]

Μια επιπλέον ευεργετική επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας τροφοδοσίας προκύπτει από τη μείωση της υγρότητας του ατμού στην έξοδο του

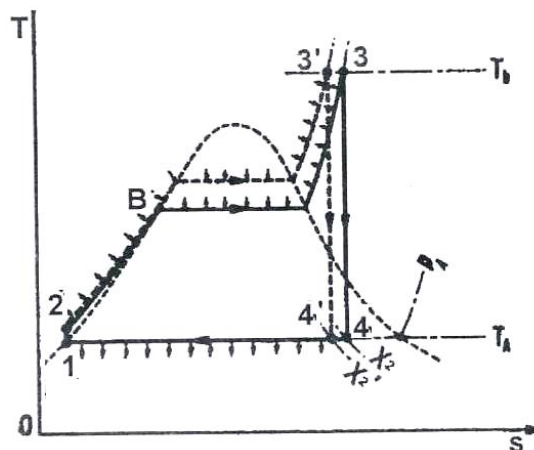
ατμοστροβίλου, συνεπώς μείωση του μέρους της εκτόνωσης που πραγματοποιείται στην περιοχή του υγρού ατμού. Στο σημείο αυτό, αξίζει να παρατηρηθεί πως η θερμοκρασία εισόδου του υπέρθερμου ατμού στον ατμοστρόβιλο, δε μπορεί να ξεπεράσει κάποια ορισμένα όρια, τα οποία καθορίζει η αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνται στο τμήμα υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Στις περισσότερες από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις μεγάλων ατμοστροβίλων η θερμοκρασία του ατμού δεν ξεπερνά τους 565°C . [24]



Εικόνα 4.1.4. Επίδραση αύξησης θερμοκρασίας τροφοδοσίας, [24]

4. Αύξηση πίεσης τροφοδοσίας υπέρθερμου ατμού

Αύξηση της πίεσης τροφοδοσίας με σταθερή τη μέγιστη θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού, σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας κορεσμού και συνεπώς αύξηση της μέσης θερμοκρασίας πρόσδοσης θερμότητας στον κύκλο εφ' όσον βέβαια η πίεση είναι κάτω της κρίσιμης. Έτσι επιτυγχάνεται αύξηση του βαθμού απόδοσης. [24] Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στην εικόνα 4.1.5.

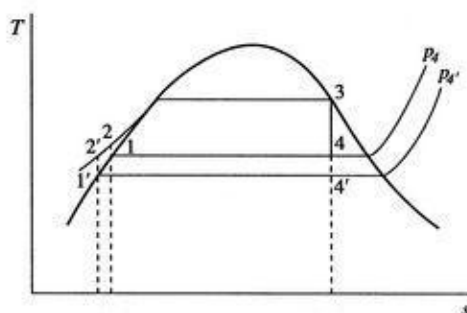


Εικόνα 4.1.5. Επίδραση αύξησης πίεσης τροφοδοσίας, [24]

Για κατασκευαστικούς λόγους η υγρασία των τελευταίων βαθμίδων του ατμοστροβίλου δεν πρέπει να φτάνει το 15%, ενώ συνήθως επιδιώκεται να μην είναι μεγαλύτερη από 12%. Η επίτευξη χαμηλών υγρασιών έστω και με μέγιστη πίεση τροφοδοσίας υλοποιείται με χρήση αναθέρμανσης στον κύκλο. Σύγχρονες μεγάλες μονάδες ατμοστροβίλων λειτουργούν με πίεση τροφοδοσίας της τάξης των 160 έως 200 bar, ενώ έχουν κατασκευαστεί και μονάδες με υπερκρίσιμες συνθήκες εισόδου του ατμού στον ατμοστρόβιλο με πίεση της τάξης των 240 bar. [24]

5. Μείωση της πίεσης εξόδου του ατμού

Η αύξηση της υποπίεσης (μείωση της πίεσης) στην έξοδο του ατμοστροβίλου έχει ευεργετικά αποτελέσματα στις επιδόσεις του κύκλου, καθώς η ενθαλπική διαφορά για δεδομένη πτώση πίεσης είναι πολύ μεγαλύτερη σε χαμηλές πιέσεις. [24] Επιπλέον, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1.6, μειώνεται η μέση θερμοκρασία απόρριψης θερμότητας του κύκλου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενθαλπική πτώση του ατμού στον ατμοστρόβιλο, άρα και η προσδιδόμενη ενέργεια.



Εικόνα 4.1.6. Μείωση πίεσης στην έξοδο του ατμοστροβίλου

Το πόσο χαμηλή είναι η πίεση εξαρτάται από τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως. Συνεπώς είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατηρείται ο συμπυκνωτής σε χαμηλή θερμοκρασία, η οποία επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιείται ψυκτικό μέσο με όσο το δυνατόν μικρότερη θερμοκρασία. [24]

4.1.4 Ατμοπαραγωγός

Ο ατμοπαραγωγός είναι ένα σύστημα παραγωγής ατμού, με ορισμένα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά και καθορισμένη παροχή. Μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ ενός ρεύματος θερμού καυσαερίου και ενός ρεύματος νερού, που καθώς διαρρέει τον ατμοπαραγωγό μετασχηματίζεται βαθμιαία σε κορεσμένο και υπέρθερμο ατμό, παίρνοντας θερμότητα από το καυσαέριο. [23]

Το ρεύμα του θερμού καυσαερίου, που αποτελεί τον φορέα της συναλλασσόμενης θερμότητας, δημιουργείται μέσα στον ατμοπαραγωγό με την

καύση του καυσίμου. Τόσο το εργαζόμενο μέσο (νερό ή ατμός), όσο και ο φορέας της θερμότητας (καυσαέριο), κυκλοφορούν σε σύστημα αγωγών, μέσα από τα τοιχώματα των οποίων μεταδίδεται η θερμότητα από το καυσαέριο στο εργαζόμενο μέσο. Η επιφάνεια των τοιχωμάτων των αγωγών νερού ή ατμού, που έρχεται σε επαφή με το καυσαέριο, αποτελεί την θερμαινόμενη επιφάνεια του ατμοπαραγωγού. [23]

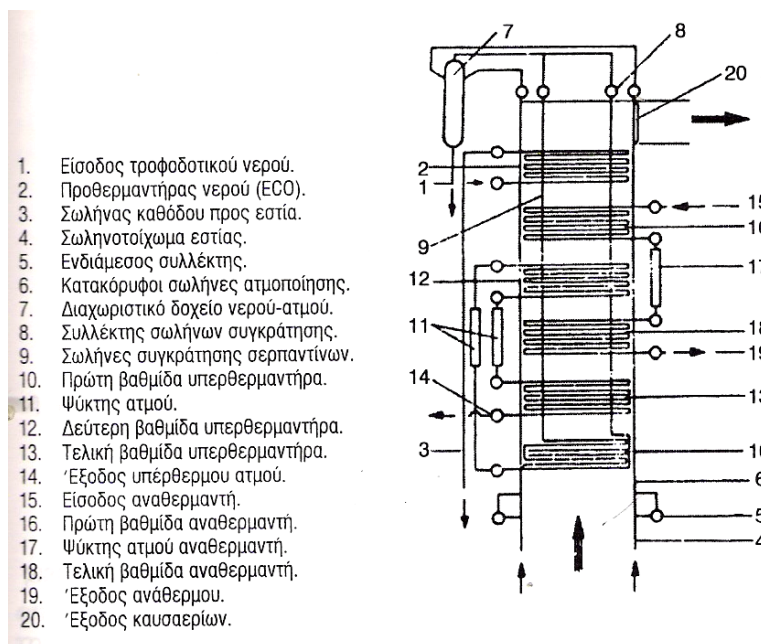
Σε μεγάλους ατμοπαραγωγούς, το σύστημα των αγωγών, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο, αποτελείται από πολλούς παράλληλους σωλήνες, μικρής σχετικά διαμέτρου. Η καύση του καυσίμου και η δημιουργία του καυσαερίου γίνεται σε ειδικό χώρο του ατμοπαραγωγού, που ονομάζεται *θάλαμος καύσης* ή *Εστία*. Ο θάλαμος αυτός, είναι συνήθως ντυμένος εσωτερικά με σειρά σωλήνων, μέσα στους οποίους κινείται το νερό που πρόκειται να ατμοποιηθεί. Λόγω της ακτινοβολίας της φλόγας και επειδή το καυσαέριο κατά τον σχηματισμό του έχει μεγάλη θερμοκρασία, ένα μεγάλο μέρος θερμότητας μεταδίδεται στους σωλήνες που ντύνουν το θάλαμο καύσης με ακτινοβολία. Οι σύγχρονοι ατμοπαραγωγοί, έχουν εξελιχθεί σε πολύ μεγάλες και πολύπλοκες κατασκευές, εκτός από το σύστημα ατμοποίησης περιλαμβάνουν επίσης:

- i. Υπερθερμαντήρες: Ο υπερθερμαντήρας έχει σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του κορεσμένου ατμού και τοποθετείται μετά το σύστημα ατμοποίησης. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα (σερπαντίνες σωλήνων), που τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία, στη ροή των καυσαερίων. Μεταξύ των τμημάτων του υπερθερμαντήρα τοποθετούνται ψύκτες ατμού για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του.
- ii. Αναθερμαντήρες: Ο αναθερμαντής του ατμού είναι μια επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, που χρησιμεύει για την αναθέρμανση του ατμού μετά την μερική του αποτόνωση, στο τμήμα υψηλής πίεσης του ατμοστροβίλου. Η κατασκευή του αναθερμαντή - μορφολογικά - είναι ίδια με αυτή του υπερθερμαντήρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού γίνεται μέχρι τη θερμοκρασία που έχει αυτός, κατά την έξοδό του από τον υπερθερμαντήρα. Και εδώ, είναι απαραίτητη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ατμού, που γίνεται με διάφορες μεθόδους, π. χ. ψεκασμό νερού, επαναφορά ψυχρών καυσαερίων, εναλλάκτη θερμότητας, Κ.λπ.
- iii. Προθερμαντήρες νερού (ECO): Ο προθερμαντήρας νερού ή οικονομητήρας (ECO) προθερμαίνει το νερό τροφοδοσίας του ατμοπαραγωγού, πριν αυτό οδηγηθεί στο σύστημα ατμοποίησης. Η θερμότητα που φέρουν ακόμα τα καυσαέρια τα οποία έχουν προσφέρει ήδη θερμότητα στις επιφάνειες του συστήματος ατμοποίησης, υπερθερμαντήρα και αναθερμαντήρα, αξιοποιείται για την θέρμανση του τροφοδοτικού νερού θερμοκρασίας μικρότερης κατά 30-50 °C της θερμοκρασίας κορεσμού που αντιστοιχεί στην πίεση λειτουργίας. Οι

οικονομητήρες αποτελούνται από συλλέκτες εισόδου-εξόδου και σερπαντίνες χαλυβδοσωλήνων, γυμνών ή με πτερύγια.

- iv. Προθερμαντήρας αέρα καύσης (LUVO): Η χρησιμοποίηση των προθερμαντήρων αέρα καύσης βελτιώνει τον βαθμό απόδοσης του ατμοπαραγωγού, μειώνοντας την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων και, επίσης, συμβάλει σημαντικά στην καλύτερη και ταχύτερη διεργασία της καύσης, ιδιαίτερα όταν τα καύσιμα έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία. Η τελική θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον προθερμαντήρα αέρα εξαρτάται από την θερμοκρασία δρόσου των καυσαερίων και δεν πρέπει ποτέ να είναι ίση ή μικρότερη από αυτήν. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, τόσο υψηλότερο είναι το σημείο δρόσου των καυσαερίων. Υπάρχουν διάφορων ειδών προθερμαντήρες αέρα, Π.χ. προθερμαντήρες με πλάκες, περιστρεφόμενοι προθερμαντήρες, ή προθερμαντήρες αέρα με σωλήνες. [23]

Στην ακόλουθη εικόνα 4.1.7 παρουσιάζεται η μορφή ενός σύγχρονου ατμοπαραγωγού, όπου φαίνονται όλες οι παραπάνω περιγραφόμενες επιφάνειες συναλλαγής.



Εικόνα 4.1.7. Σύγχρονος ατμοπαραγωγός, [23]

Επιπλέον οι ατμοπαραγωγοί χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- i. Φυσικής κυκλοφορίας: Στους ατμοπαραγωγούς φυσικής κυκλοφορίας εξασφαλίζεται η αδιάκοπη κίνηση του νερού μέσα στους σωλήνες, που αποτελούν την επιφάνεια ατμοποίησης, χωρίς τη βοήθεια τεχνητού μέσου (αντλία), αλλά με την εκμετάλλευση φυσικών αιτίων (με χρήση τυμπάνου). Το ανώτερο όριο πίεσης του παραγόμενου υπέρθερμου ατμού, για

εξασφαλισμένη λειτουργίας ενός ατμοπαραγωγού φυσικής κυκλοφορίας είναι περίπου 175 bar.

- ii. Τεχνητής κυκλοφορίας: Αν για κατασκευαστικούς λόγους, σε ένα ατμοπαραγωγό φυσικής κυκλοφορίας, δεν είναι αρκετή η διαφορά στατικής πίεσης στο σύστημα ατμοποίησης για να δημιουργηθεί μια εξασφαλισμένη φυσική ανακυκλοφορία του νερού σε αυτό, τότε τοποθετούνται μία ή περισσότερες αντλίες για την ενίσχυση της ανακυκλοφορίας. Η πίεση του παραγόμενου υπέρθερμου ατμού σε ένα ατμοπαραγωγό τεχνητής κυκλοφορίας είναι περίπου 195 bar.
- iii. Εξαναγκασμένης ροής: Στους ατμοπαραγωγούς εξαναγκασμένης ροής δε γίνεται ανακυκλοφορία του νερού στο σύστημα ατμοποίησης, αλλά το εργαζόμενο μέσο εξαναγκάζεται με την τροφοδοτική αντλία να κινηθεί από την είσοδο του ατμοπαραγωγού μέχρι την έξοδο του. Έτσι στο πλήρες φορτίο του ατμοπαραγωγού, η ροή στους σωλήνες της επιφάνειας ατμοποίησης είναι σχεδόν ίση με τη ροή του υπέρθερμου ατμού στην έξοδο του υπερθερμαντήρα. [25]

4.1.5 Ατμοστρόβιλος

Οι ατμοστρόβιλοι είναι θερμικές μηχανές με υψηλή ταχύτητα περιστροφής και μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Στον ατμοστρόβιλο επιδιώκεται η μετατροπή της θερμικής ενέργειας του εργαζόμενου μέσου σε κινητική ενέργεια και αυτής σε μηχανικό έργο. Σήμερα κατασκευάζονται ατμοστρόβιλοι από λίγα kW μέχρι περίπου και 1.300 MW σε μία άτρακτο. [23]



Εικόνα 4.1.8. Ατμοστρόβιλος Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου

Συνηθίζεται οι ατμοστρόβιλοι να χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με ορισμένα χαρακτηριστικά τους, που σχετίζονται με το είδος σχεδίασης, την διάταξη των επιμέρους τμημάτων τους και την κατάσταση του ατμού στην είσοδο ή την έξοδο τους. [24] Οι κατηγορίες αυτές αναλύονται στη συνέχεια:

1. Τύπος περύγωσης

i. Στρόβιλοι δράσεως

Οι στρόβιλοι δράσεως είναι στρόβιλοι με μηδενικό βαθμό αντίδρασης. Τα περύγια της σταθερής περύγωσης είναι τέτοια ώστε να δημιουργούν ακροφύσια με σκοπό να επιταχύνουν τη διερχόμενη ροή, μειώνοντας ταυτόχρονα την πίεση. Η εξερχόμενη ροή οδηγείται με υψηλή ταχύτητα στα κινούμενα περύγια τα οποία και ωθεί με τη δύναμη που οφείλεται στη μεταβολή της ορμής του ρευστού και μόνο. Μεταξύ εισόδου και εξόδου του ρότορα δεν υπάρχει μεταβολή της στατικής πίεσης του ρευστού. [24]

ii. Στρόβιλοι αντιδράσεως

Οι στρόβιλοι αντιδράσεως έχουν βαθμό αντίδρασης μεγαλύτερο του μηδενός. Ανάλογα με το βαθμό αντίδρασης μειώνεται η πίεση τόσο στον ρότορα, όσο και στον στάτορα, εκτός αν ο βαθμός αντίδρασης είναι 100%, ώστε όλη η μεταβολή της πίεσης να γίνεται στον ρότορα. [24]

iii. Σύγκριση στροβίλων δράσεως & αντιδράσεως

Στρόβιλος δράσης		Στρόβιλος Αντίδρασης	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1. Εκμετάλλευση διατιθέμενης ισεντροπικής πτώσης σε λίγες βαθμίδες	1. Δαπανηρή κατασκευή διαφραγμάτων	1. Φθηνή κατασκευή	1. Απαιτήση μικρών αξονικών και ακτινικών διακένων
2. Τήρηση μεγάλων διακένων στην κινητή στεφάνη	2. Υψηλός αριθμός στροφών για επίτευξη καλού βαθμού απόδοσης	2. Πολύ καλή ροή ατμού	2. Δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας
3. Ταχεία εκκίνηση του στροβίλου		3. Καλός βαθμός απόδοσης στις μικρές στροφές	3. Μεγάλες αξονικές ώσεις
4. Πολύ καλή στεγανότητα στα διαφράγματα			4. Μεγάλες απώλειες ατμού στις ακραίες βαθμίδες
			5. Μεγάλος αριθμός βαθμίδων

Πίνακας 4.1.1. Σύγκριση στροβίλων δράσης & αντίδρασης, [23]

2. Διάταξη της ροής

- i. Απλής ροής, όπου ο ατμός κινείται σε μία κατεύθυνση από την είσοδο μέχρι την έξοδο
- ii. Διπλής ροής ή αντιρροής, όπου ο ατμός χωρίζεται σε δύο κλάδους περνώντας σε αντίθετες φορές από δύο διαφορετικές σειρές βαθμίδων πάνω στον ίδιο ρότορα
- iii. Σύνθετης διάταξης, όπου ο ατμός περνά από μια σειρά διαφορετικές χωριστές μονάδες, τοποθετημένες σε δύο ή περισσότερα κελύφη και συνδεδεμένα συνήθως στην ίδια άτρακτο [24]

3. Συνθήκες τροφοδοσίας – εξόδου

- i. Ατμοστροβίλοι συμπίκνωσης, όπου η έξοδος του ατμοστροβίλου γίνεται στον συμπυκνωτή, στον οποίο έχουμε την υγροποίηση του ατμού, και λειτουργεί σε πίεση αρκετά χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής (0,025 -0,5 bar)
- ii. Ατμοστροβίλοι αντίθλιψης, όπου ο ατμός στην έξοδο του στροβίλου έχει σχετικά υψηλή πίεση και θερμοκρασία για τροφοδοσία διεργασιών με ατμό ή ακόμα και ενός άλλου ατμοστροβίλου (1 - > 6 bar)
- iii. Ατμοστροβίλοι με απομαστεύσεις για εξωτερική τροφοδοσία, όπου μέρος του ατμού απομαστεύεται από κάποια ενδιάμεση θέση του στροβίλου και χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις, όπως θέρμανση ή άλλες διεργασίες [24]

4. Πίεση τροφοδοσίας

- i. Χαμηλής πίεσης, για πίεση τροφοδοσίας μέχρι 20 bar
- ii. Μέσης πίεσης, για πίεση τροφοδοσίας μέχρι 40 bar
- iii. Υψηλής πίεσης, για πίεση τροφοδοσίας μέχρι 170 bar
- iv. Υπερ-υψηλής πίεσης, για πίεση τροφοδοσίας πάνω από 170 bar, ενώ για πιέσεις πάνω από 225 bar χρησιμοποιούνται μηχανές υπερκρίσιμης πίεσης

5. Ταχύτητα περιστροφής

- i. Σταθερής ταχύτητας, για στροβίλους που λειτουργούν για παραγωγή ηλεκτρισμού και περιστρέφονται με σταθερή ταχύτητα περιστροφής (3.000 RPM)
- ii. Μεταβλητής ταχύτητας, για στροβίλους που χρησιμοποιούνται ως κινητήριες μηχανές αντλιών, ανεμιστήρων, συμπιεστών, για πρόωση πλοίων κ.α. [24]

4.1.6 Αντλίες

Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός περιλαμβάνει πάρα πολλές αντλίες. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Αντλίες συμπυκνώματος, οι οποίες αντλούν το συμπύκνωμα από τον συμπυκνωτή και το καταθλίζουν μέσω των προθερμαντών χαμηλής πίεσης στον απαεριστή και στη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού
- Τροφοδοτικές αντλίες, οι οποίες αντλούν το τροφοδοτικό νερό από την τροφοδοτική δεξαμενή και το καταθλίζουν στον ατμοπαραγωγό μέσω των προθερμαντών νερού υψηλής πίεσης
- Αντλίες κυκλοφορίας ψυκτικού νερού, οι οποίες κυκλοφορούν το ψυκτικό νερό μέσα στον κύριο συμπυκνωτή της μονάδας, του οποίου η παροχή καθορίζεται από την απαίτηση για τη συμπύκνωση του ατμού που εξέρχεται από τον ατμοστρόβιλο.
- Αντλίες ανακυκλοφορίας νερού ατμοπαραγωγού, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε περίπτωση ατμοπαραγωγών τεχνητής ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας [23]



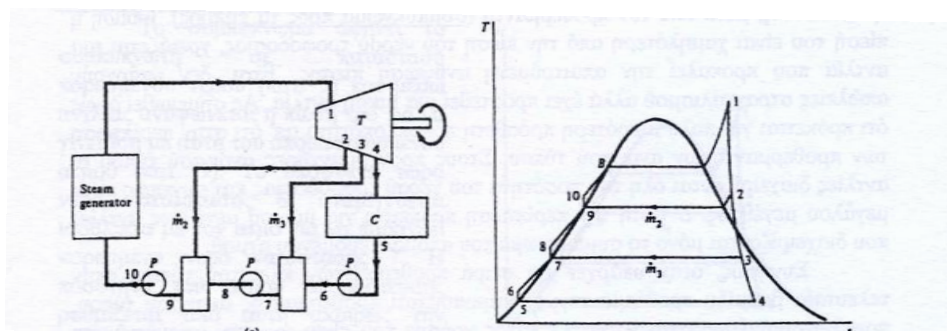
Εικόνα 4.1.9. Τροφοδοτικές αντλίες Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου

4.1.7 Προθερμαντές τροφοδοτικού νερού – Απαερίωση

Τα οφέλη από την εφαρμογή της αναγεννητικής προθέρμανσης τροφοδοτικού νερού, αναλύονται στην αντίστοιχη παράγραφο των βελτιώσεων του κύκλου Rankine. Στην συγκριμένη παράγραφο περιγράφονται και αναλύονται οι διάφοροι τύποι προθερμαντών και οι διαφορετικές διεργασίες που πραγματοποιούν.

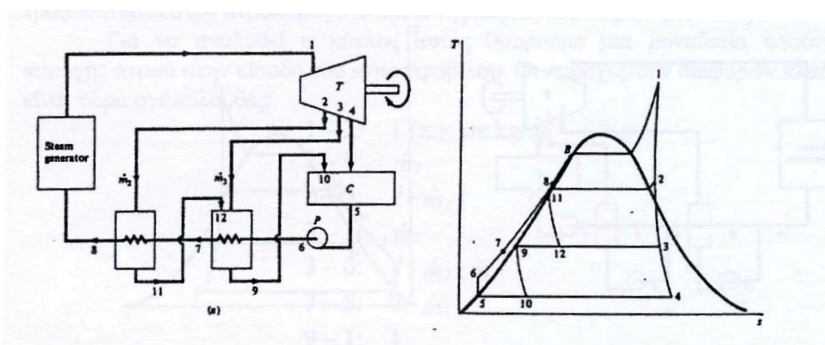
Σύμφωνα με την ακόλουθη εικόνα 4.1.9, στους προθερμαντές ανοικτού τύπου, το συμπύκνωμα αφήνει το συμπυκνωτή σε κατάσταση κορεσμένου νερού (θέση 5) και μέσω αντλίας ανυψώνεται η πίεση του για να γίνει ίση με αυτή του απομαστευόμενου ατμού (θέση 3). Το υπόψυκτο νερό (θέση 6) αναμιγνύεται ισόθλιπτα με τον ατμό για να παραχθεί κορεσμένο νερό (θέση 7). Η ποσότητα του ατμού απομάστευσης ρυθμίζεται από αυτή ακριβώς την απαίτηση, ενώ η διεργασία αυτή επαναλαμβάνεται και στους υπόλοιπους προθερμαντές. Το

πλεονέκτημα τους είναι η πολύ καλή απόδοση της προθέρμανσης και η απλή κατασκευή τους, ενώ μειονεκτούν στο γεγονός ότι είναι απαραίτητη η χρήση αντλίας συμπυκνώματος ανά προθερμαντήρα, λόγω του ότι ο απομαστευόμενος ατμός είναι σε υψηλότερη πίεση από το τροφοδοτικό νερό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των προθερμαντήρων ανοικτού τύπου, είναι πως δρουν ως απαερωτές για την αποφυγή διαβρώσεων στον ατμοπαραγωγό. [24]



Εικόνα 4.1.10. Διάταξη ατμοστροβίλου, με προθερμαντές ανοικτού τύπου, [24]

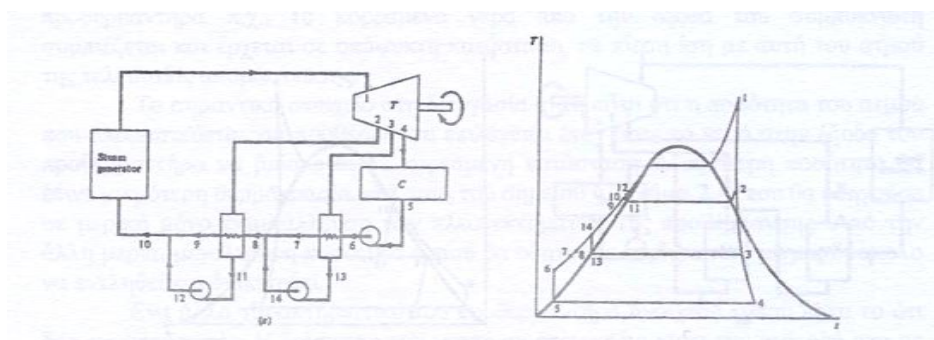
Στους προθερμαντές κλειστού τύπου με το συμπύκνωμα προς τα πίσω, το συμπύκνωμα κάθε προθερμαντή οδηγείται προς τον επόμενο προθερμαντή, που βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση. Η λειτουργία των προθερμαντών αυτού του τύπου, αλλά και το μονογραμμικό διάγραμμα του ατμοπαραγωγού φαίνονται στην εικόνα 4.1.10. Ο ατμός κατάστασης 3 μεταφέρει θερμότητα στο υπόψυκτο νερό κατάστασης 6 όπου το θερμαίνει μέχρι την κατάσταση 7. Το συμπύκνωμα του προθερμαντή κατάστασης 9, στραγγαλίζεται και στον συμπυκνωτή ως διφασικό μίγμα κατάστασης 10. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του τύπου προθερμαντών είναι πως τοποθετούνται μόνο δύο αντλίες στην εγκατάσταση, μια αντλία συμπυκνώματος και μια αντλία τροφοδοσίας, όμως δημιουργούνται απώλειες από τον στραγγαλισμό του συμπυκνώματος. [24]



Εικόνα 4.1.11. Διάταξη ατμοστροβίλου, με προθερμαντές κλειστού τύπου (συμπύκνωμα προς τα πίσω), [24]

Τέλος, οι προθερμαντές κλειστού τύπου με το συμπύκνωμα προς τα εμπρός, παρουσιάζονται στην εικόνα 4.1.11. Ο συμπυκνούμενος απομαστευόμενος ατμός κατάστασης 13, ανυψώνεται μέσω αντλιών (θέση 14) και τροφοδοτείται στο κυρίως νερό τροφοδοσίας μετά από τον προθερμαντή (θέση 7), ώστε να καταλήγει στην

κατάσταση 8. Δεν υπάρχουν απώλειες στραγγαλισμού όπως στις προηγούμενη περίπτωση, όμως προστίθεται μια πολύ μικρή αντλία ύστερα από κάθε προθερμαντή. [24]



Εικόνα 4.1.12. Διάταξη ατμοτροβίλου, με προθερμαντές κλειστού τύπου (συμπύκνωμα προς τα εμπρός), [24]

Καταλήγοντας, ο συνηθέστερος τύπος προθερμαντήρα είναι ο κλειστού τύπου με το συμπύκνωμα οδηγούμενο προς τα πίσω. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας ανοιχτού τύπου προθερμαντής που λειτουργεί και ως απαερωτής. Η συνήθης θέση του ανοιχτού τύπου προθερμαντή είναι κάπου στο μέσον του κυκλώματος τροφοδοσίας, όπου οι θερμοκρασίες είναι συνήθως ευνοϊκότερες για απαερίωση. [24]

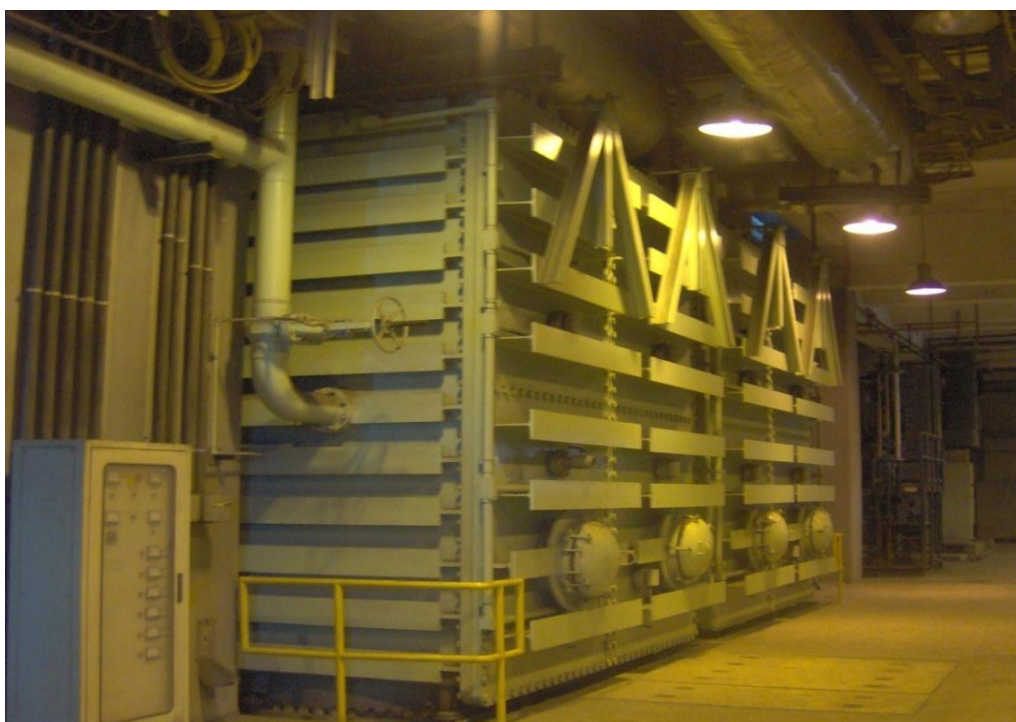
Το κέρδος στον βαθμό απόδοσης της μονάδας μικραίνει όσο μεγαλώνει ο αριθμός των προθερμαντήρων. Από την άλλη μεριά η προσθήκη απομστεύσεων οδηγεί σε σημαντική αύξηση της πολυπλοκότητας μιας εγκατάστασης. Πρακτικά εφαρμόζονται μέχρι και επτά απομαστεύσεις και σπάνια συναντώνται περισσότερες. [24] Στην εικόνα 4.1.12 φαίνεται ένας προθερμαντής νερού κλειστού τύπου.



Εικόνα 4.1.13. Προθερμαντής κλειστού τύπου

4.1.8 Συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, όπου ο εξερχόμενος από τον ατμοστρόβιλο ατμός, υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού μέσου που μπορεί να είναι νερό ή αέρας. Όσο χαμηλότερη είναι η πίεση του ατμού στον συμπυκνωτή, τόσο αυξάνεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, αφού αυξάνει η θερμική πτώση στον ατμοστρόβιλο. Συνεπώς ο συμπυκνωτής είναι βασικό τμήμα της εγκατάστασης, αλλά επίσης και ο φορέας της μέγιστης θερμικής απώλειας ενός θερμικού σταθμού, αφού η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης απάγεται με το νερό ψύξης. [23]

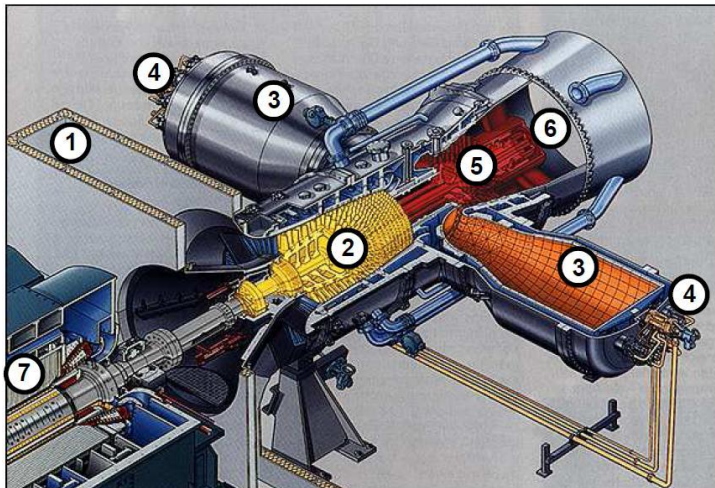


Εικόνα 4.1.14. Συμπυκνωτής Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου

4.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αεριοστρόβιλο

4.2.1 Εισαγωγή

Οι αεριοστρόβιλοι έχουν βρει ευρύτατη εφαρμογή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το μερίδιό τους στην αγορά αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως σε δύο παράγοντες, στην βελτίωση του κύκλου αεριοστρόβιλου και στη δυνατότητα χρήσης φυσικού αερίου ως καύσιμο, το οποίο είναι φθινό και παράγει λιγότερους ρύπους. [24] Η μορφή ενός βιομηχανικού αεριοστρόβιλου παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.1.



1. Εισαγωγή αέρα
2. Συμπιεστής
3. Θάλαμος καύσης
4. Καυστήρας
5. Στρόβιλος
6. Διαχύτης
7. Ηλεκτρογεννήτρια

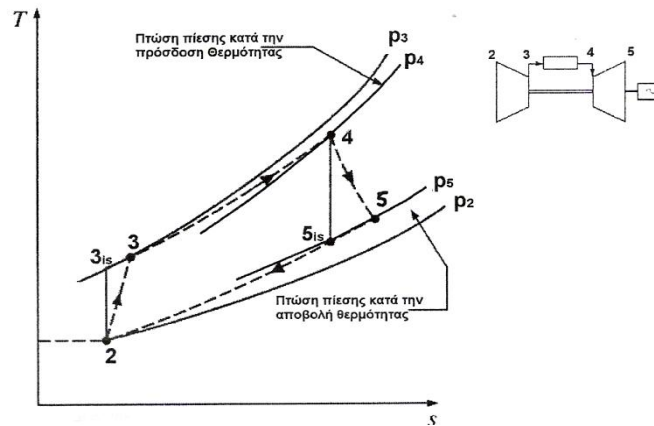
Εικόνα 4.2.1. Τυπική μορφή βιομηχανικού αεριοστροβίλου

Ένας αεριοστροβίλος στην πιο απλοποιημένη του μορφή αποτελείται από ένα συμπιεστή, ένα θάλαμο καύσης και ένα στρόβιλο, ο οποίος δίνει κίνηση στο συμπιεστή και σε μια ηλεκτρογεννήτρια.[23] Στον συμπιεστή πραγματοποιείται η συμπίεση του εργαζόμενου μέσου (αέριο). Στον θάλαμο καύσης προσδίδεται θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο από την καύση υγρών ή αέριων καυσίμων. Τέλος, το εργαζόμενο μέσο αποτονώνεται στον στρόβιλο. Η μηχανική ισχύς του αεριοστροβίλου προκύπτει ως η καθαρή διαφορά της μηχανικής ισχύος που απορροφά ο συμπιεστής από αυτή που παράγει ο στρόβιλος. [24]

4.2.2 Θερμοδυναμικός κύκλος Joule – Brayton

Ο κύκλος που περιγράφει τις ιδανικές μεταβολές του αεριοστροβίλου είναι ο κύκλος Joule – Brayton, στον οποίο θεωρείται ότι η συμπίεση και η αποτόνωση είναι ισεντροπικές, ενώ η πρόσδοση θερμότητας στον θάλαμο καύσης ισόθλιπτη. [24]

Ο πραγματικός κύκλος του αεριοστροβίλου διαφέρει από τον ιδανικό κύκλο Joule – Brayton. Σε μια πραγματική μηχανή είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί μια ισεντροπική μεταβολή, καθώς λόγω εσωτερικών τριβών μέρος της ενέργειας που απορροφάται ή αποδίδεται στο εργαζόμενο μέσο μετατρέπεται σε θερμότητα. Συνεπώς προκύπτει αύξηση της θερμοκρασίας σχετικά με την τιμή που θα είχαμε για ισεντροπική μεταβολή, καθώς και αύξηση της εντροπίας του εργαζόμενου μέσου. Μια άλλη απόκλιση από την πραγματικότητα οφείλεται στο γεγονός ότι η ροή μέσα από τους αγωγούς όπου δε γίνεται συναλλαγή έργου, δεν είναι ισόθλιπτη, αλλά έχουμε απώλειες ολικής πίεσης λόγω και πάλι εσωτερικών τριβών. Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην εικόνα 4.2.2 παρουσιάζεται ο πραγματικός κύκλος αεριοστροβίλου στην πιο απλή του μορφή. [24]



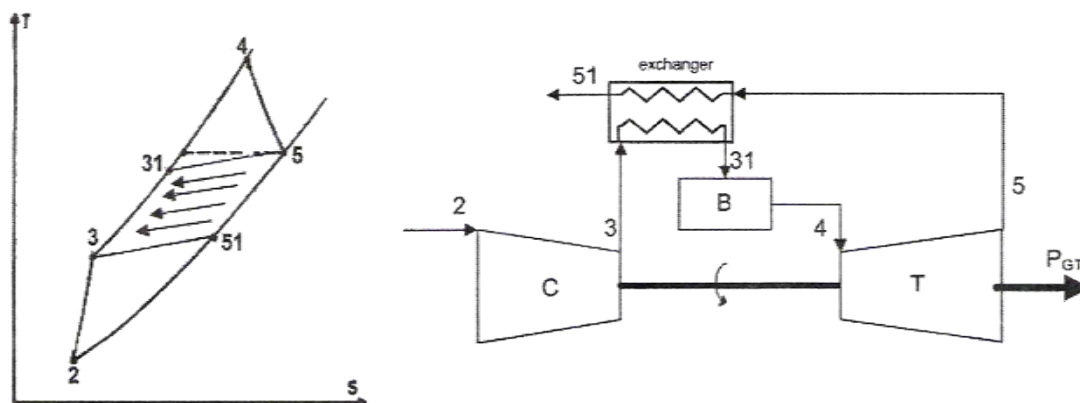
Εικόνα 4.2.2. Πραγματικός κύκλος αεριοστροβίλου, [24]

4.2.3 Βελτιώσεις θερμοδυναμικού κύκλου Joule – Brayton

Παραλλαγές του απλού κύκλου του αεριοστροβίλου για αύξηση της ειδικής ισχύος και της απόδοσης έχουν δοκιμαστεί με διάφορους τρόπους. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση των κυριότερων εξ αυτών.

1. Ανακόμιση θερμότητας

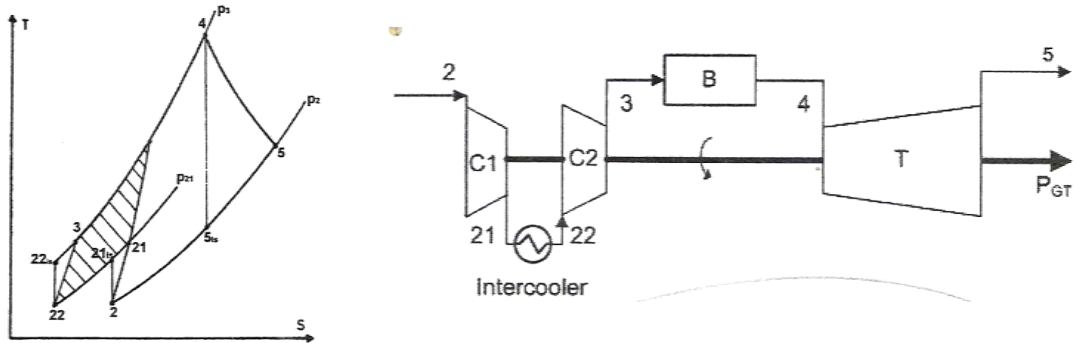
Τα καυσαέρια στην έξοδο του αεριοστροβίλου μπορεί να έχουν θερμοκρασία ανώτερη από αυτή της εξόδου του συμπιεστή, όταν ο λόγος πίεσης συμπιεστή και η θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου έχουν κατάλληλες τιμές. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να μεταφερθεί θερμότητα από τα καυσαέρια στον αέρα εξόδου του συμπιεστή, πριν αυτός εισέλθει στον θάλαμο καύσης. Με αυτό τον τρόπο κερδίζεται ένα μέρος θερμότητας που θα έπρεπε να αποδοθεί από το καύσιμο. Η διεργασία αυτή φαίνεται στην εικόνα 4.2.3. Η ειδική ισχύς (ισχύς ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου μέσου) παραμένει η ίδια, αυξάνεται όμως ο βαθμός απόδοσης καθώς μειώνεται το απαραίτητο καύσιμο. [24]



Εικόνα 4.2.3. Κύκλος με ανακόμιση θερμότητας, [24]

2. Ενδιάμεση ψύξη συμπίεστή

Η ενδιάμεση ψύξη συμπίεστή έχει ως στόχο να φτάσει το εργαζόμενο μέσο (συνήθως αέρας) σε υψηλότερα επίπεδα συμπίεσης, διατηρώντας παράλληλα τη θερμοκρασία σε χαμηλό σημείο, όπως φαίνεται αναλυτικότερα και στην εικόνα 4.2.4.

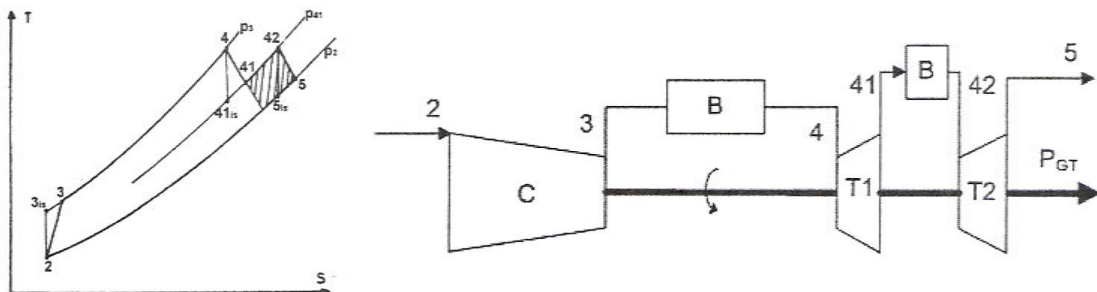


Εικόνα 4.2.4. Κύκλος με ενδιάμεση ψύξη, [24]

Η χρήση ενδιάμεσης ψύξης αυξάνει σημαντικά την ειδική ισχύ. Ο βαθμός απόδοσης μειώνεται για μικρούς λόγους πίεσης καθώς απαιτείται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας (περισσότερο καύσιμο) ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του ψυχόμενου αέρα στη ζητούμενη θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου. Για λόγους πίεσης μεγαλύτερους του λόγου πίεσης, όπου εμφανίζεται ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του απλού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης παρουσιάζει βελτίωση η οποία μπορεί να είναι σημαντική. [24]

3. Αναθέρμανση

Η ισοθερμοκρασιακή αποτόνωση μπορεί να προσεγγιστεί, κατά παρόμοιο τρόπο με την ενδιάμεση ψύξη χρησιμοποιώντας την αναθέρμανση των καυσαερίων πριν ολοκληρωθεί η εκτόνωση στον στρόβιλο. [24] Ο αντίστοιχος κύκλος φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 4.2.5.



Εικόνα 4.2.5. Κύκλος με αναθέρμανση, [24]

Είναι εμφανής η αύξηση της ειδικής ισχύος στον παραπάνω τροποποιημένο κύκλο. Σημειώνεται πως η υλοποίηση της αναθέρμανσης συνδέεται με πρακτικές

δυσκολίες καθώς απαιτεί ουσιαστικά ένα δεύτερο θάλαμο καύσης και δημιουργεί μια δεύτερη θέση στη μηχανή, με θερμοκρασία κοντά στη μέγιστη επιτρεπτή. [24]

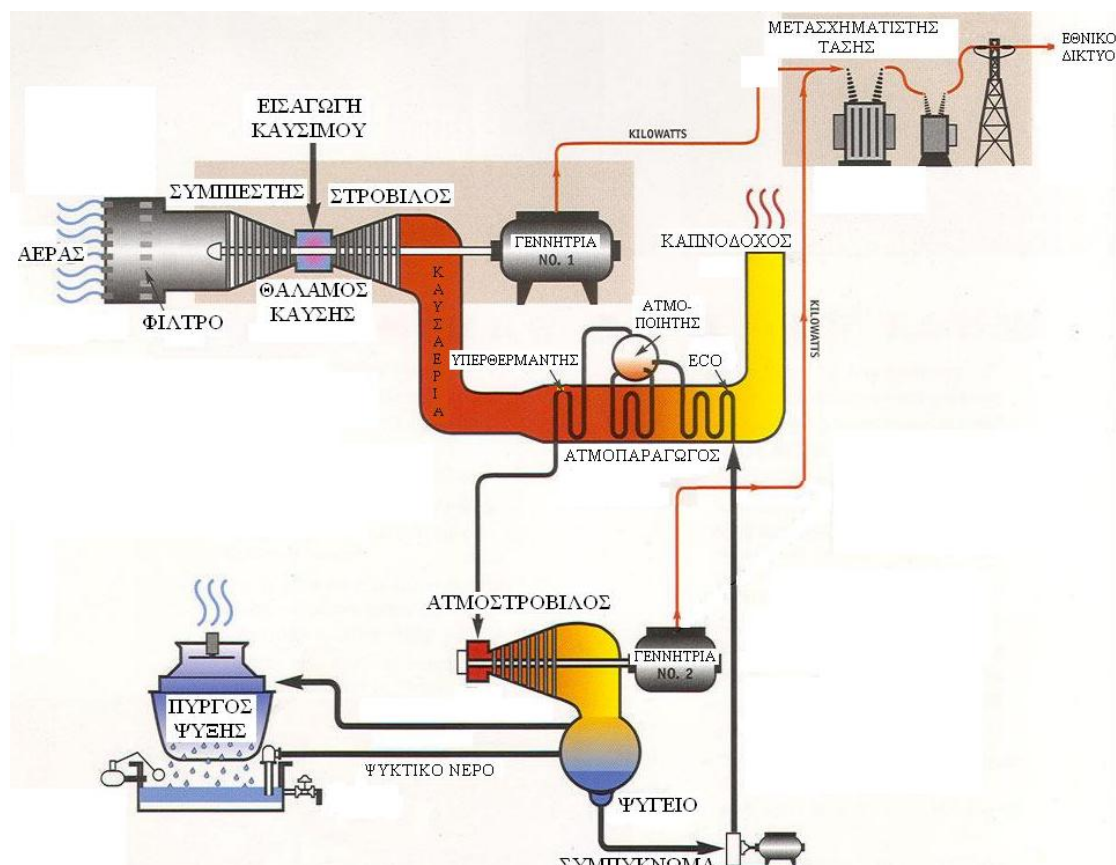
4.3 Συνδυασμένος Κύκλος Αεριοστρόβιλου – Ατμοστρόβιλου

Ο συνδυασμός αεριοστρόβιλων με ατμοστρόβιλους σε μονάδες μεγάλης ισχύος παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια μεγάλο ενδιαφέρον, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον αεριοστρόβιλο, σε τιμές μέχρι 1300 °C, αύξησης ωρών λειτουργίας μεταξύ δύο συντηρήσεων του αεριοστρόβιλου και της δυνατότητας χρησιμοποίησης του φυσικού αερίου, το οποίο παρέχεται τα τελευταία χρόνια σε μεγάλες ποσότητες. [23]

Τα συνδυασμένα συστήματα είναι πολυπλοκότερα από τις συμβατικές μονάδες ισχύος, έχουν όμως υψηλούς βαθμούς απόδοσης και σχετικά χαμηλά έξοδα επενδύσεως και λειτουργίας. Αύξηση των παραμέτρων του ατμού, του κόστους των υλικών και μεταβολή της τιμής του καυσίμου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι συμβατικές μονάδες ατμού έχουν φθάσει σε οριακό σημείο και δεν παρέχουν πλέον πολλές δυνατότητες βελτίωσης της συνολικής οικονομικότητας της μονάδας. [23]

Η επικρατέστερη μορφή μονάδων συνδυασμένου κύκλου βασίζεται στην ακόλουθη διάταξη. Μετά τον αεριοστρόβιλο συνδέεται ο ατμοπαραγωγός και εκμεταλλεύεται τη θερμότητα των καυσαερίων του σε πίεση περιβάλλοντος και με καύση ή όχι πρόσθετου καυσίμου. Η διάταξη του ατμοπαραγωγού και των προθερμαντών τροφοδοτικού νερού καθώς επίσης και η καύση πρόσθετου καυσίμου στον ατμοπαραγωγό ή όχι σε διάφορα συνδυασμένα συστήματα έχει επίδραση στο βαθμό απόδοσης των συνδυασμένων συστημάτων. [23]

Για τον ενεργειακό ισολογισμό του συστήματος αυτού, η μηχανικής ισχύς εξόδου είναι το άθροισμα των ισχύων του αεριοστρόβιλου και του ατμοστρόβιλου, ενώ η παρεχόμενη θερμική ενέργεια προκύπτει από το καύσιμο που παρέχεται στον αεριοστρόβιλο ή και στον ατμοπαραγωγό (εφόσον γίνεται καύση πρόσθετου καυσίμου). [24] Στην εικόνα 4.3.1 ακολουθεί μια τυπική μορφή μονάδας συνδυασμένου κύκλου.



Εικόνα 4.3.1. Τυπική μονάδα συνδυασμένου κύκλου

Οι συνδυασμένοι κύκλοι τελευταίας γενιάς αποτελούνται από αεριοστρόβιλους ισχύος 70-250 MW, λέβητα ανάκτησης θερμότητας και κύκλο ατμού τριών πιέσεων με αναθέρμανση. Ο αεριοστρόβιλος συνεισφέρει περίπου τα 2/3 της συνολικής ισχύος του συνδυασμένου κύκλου. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι φυσικό αέριο, πετρέλαιο ντίζελ ή αέριο χαμηλής θερμογόνου δύναμης, ενώ ο βαθμός απόδοσης ενός τέτοιου κύκλου φτάνει μέχρι το 58%. [23]

4.4 Βελτίωση βαθμού απόδοσης Α.Η.Σ.

Ο εκμοντερνισμός υπαρχουσών μονάδων περιλαμβάνει διάφορες επιμέρους εργασίες, οι οποίες και ενδείκνυνται, κατά περίπτωση, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο. Στους επιδιωκόμενους στόχους εντάσσονται τόσο γενικοί στόχοι, όπως η αύξηση της ισχύος, η βελτίωση του βαθμού απόδοσης, η μείωση των εκπομπών των ρυπαντών, κ.λπ., όσο και εξειδικευμένοι στόχοι, όπως η βελτίωση της λειτουργίας των εκκαπνιστών, των ηλεκτροστατικών φίλτρων των αντλιών και των ανεμιστήρων, που συνδέονται με συγκεκριμένα προβλήματα που έχουν προκύψει από τη μακροχρόνια λειτουργία της εγκατάστασης. [23] Οι δυνατές επιμέρους εργασίες εκμοντερνισμού υπαρχουσών μονάδων παρουσιάζονται και αναλύονται στη συνέχεια:

1. Καθαρισμός Επιφανειών Συναλλαγής, Συντήρηση και Βελτιστοποίηση των Εκκαπνιστών

Ο καθαρισμός των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας, η συντήρηση και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των εκκαπνιστών αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση για να λειτουργεί ένας ατμοπαραγωγός σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό των λειτουργικών χαρακτηριστικών του. Οι επικαθήσεις των σωματιδίων αιθάλης και της ιπτάμενης τέφρας, που δημιουργούν ένα σκληρό σώμα πάνω στις επιφάνειες συναλλαγής και το σωληνοτοίχωμα της εστίας, χειροτερεύοντας το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας μεταξύ καυσαερίου και εργαζόμενου μέσου, απομακρύνονται κατά την ετήσια συντήρηση του σταθμού. Η κατάσταση του λέβητα και των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας μετά τη συντήρηση αποτελεί την κατάσταση βάσης, σύμφωνα με την οποία διαπιστώνεται κάθε φορά η έκταση της ρύπανσης του θαλάμου καύσης και των επιφανειών συναλλαγής. [23]

Ο καθαρισμός των επιφανειών συναλλαγής από τις εύκολα απομακρυνόμενες επικαθήσεις, που συσσωρεύονται με τη μορφή λεπτόκοκκων όγκων από σωματίδια ανάμεσα στους σωλήνες των επιφανειών συναλλαγής ή στα σημεία μεταβολής της διατομής της εστίας, επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας με τη βοήθεια εκκαπνιστών, που εξακοντίζουν ατμό ή νερό. [23]

2. Βελτίωση του Συστήματος Καύσης

Το υπάρχον σύστημα καύσης θεωρείται υπεύθυνο, αφενός για την ανομοιόμορφη θερμοκρασιακή κατανομή μέσα στην εστία, που συνεπάγεται χαμηλή μεταφορά θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο, και αφετέρου για τα υψηλά ποσοστά ακαύστων στην υγρή και ιπτάμενη τέφρα. Οι υψηλές ταχύτητες προσαγωγής του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος αέρα, αλλά και η ταχύτητα προσαγωγής του καυσίμου, μειώνουν το χρόνο παραμονής του λιγνίτη στην εστία και παράλληλα ευνοούν την επέκταση της ζώνης καύσης μέχρι την πρώτη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας με συναγωγή (πρώτη βαθμίδα του υπερθερμαντήρα). Οι μετατροπές, που αποτελούν διεθνώς τη συνήθη πρακτική για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, αναμένεται να επιδράσουν αποτρεπτικά και στην τάση σχηματισμού NO_x και αναφέρονται στη συνέχεια:

- Βαθμωτή προσαγωγή αέρα στην εστία (air staging). Η παροχή πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ρεύματος αέρα είναι τέτοια, ώστε να συντελείται υπό στοιχειομετρική καύση μέσα στην εστία. Η πλήρης καύση επιτυγχάνεται με την παροχή τριτεύοντος αέρα σε επίπεδο ψηλότερο από αυτό των καυστήρων. Το τελευταίο ρεύμα τριτεύοντος αέρα εισάγεται λίγο πριν από την πρώτη επιφάνεια συναγωγής.

- Μεταφορά του επιπέδου των καυστήρων σε χαμηλότερο σημείο μέσα στην εστία ή/και της πρώτης επιφάνειας συναγωγής σε ψηλότερο επίπεδο του Ατμοπαραγωγού, έτσι ώστε να αυξάνεται ο χρόνος παραμονής του καυσίμου στην εστία.
- Γωνιακή διάταξη καυστήρων και ρύθμιση της γωνίας εισαγωγής καυσίμου και αέρα για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφο θερμοκρασιακό πεδίο και μεταφορά θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο.
- Βελτιστοποίηση της ανακυκλοφορίας καυσαερίου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση του χρόνου παραμονής στην εστία και ρύθμιση των θερμοκρασιών του καυσαερίου.
- Καλύτερη κονιοποίηση του λιγνίτη για καλύτερη ανάμιξη αέρα-καυσίμου και μείωση των ακαύστων στην τέφρα. Στο σημείο αυτό λαμβάνεται υπόψη ότι το μέγεθος της τέφρας θα πρέπει να επιτρέπει τη συγκράτησή της από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα.
- Ρύθμιση και συσχέτιση των παροχών αέρα με αυτήν του καυσίμου ανά καυστήρα και μύλο. [23]

3. Στεγανοποίηση του Λέβητα

Η στεγανοποίηση του λέβητα αφορά κυρίως παλαιότερες εγκαταστάσεις και αποσκοπεί στην αύξηση του ποσοστού του αέρα που εισέρχεται στην εστία διαμέσου του LUVO (του οποίου είναι δυνατόν να ρυθμιστούν τα χαρακτηριστικά όπως παροχή, θερμοκρασία, κ.λπ.), στην ομοιογένεια του θερμοκρασιακού πεδίου και στη μείωση των ακαύστων και σε ορισμένες περιπτώσεις, στη μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων και κατά συνέπεια, την αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα και συνολικά ολόκληρης της εγκατάστασης. Συνήθως, θεωρείται ικανοποιητικό ο αέρας από το LUVO να ξεπερνάει σε ποσοστό το 75% του συνολικού αέρα καύσης που εισέρχεται στην εστία. Το υπόλοιπο αποτελεί τον παρασιτικό αέρα καύσης, ο οποίος ανιχνεύεται από την υψηλή περίσσεια οξυγόνου στην έξοδο των καυσαερίων, που εισέρχεται στην εστία από τα εξής τέσσερα σημεία:

- από το άνοιγμα της τεφροδόχου λεκάνης και τη διαμόρφωσή της
- από τα ανοίγματα των οχετών αναρρόφησης των καυσαερίων και τη προσαρμογή των καυστήρων
- από τους μύλους
- στο LUVO από την πλευρά του αέρα προς την πλευρά του καυσαερίου και τους καυστήρες [23]

Από την τεφροδόχο λεκάνη γίνεται η απαγωγή της τέφρας, συνεπώς δεν είναι δυνατόν να κλειστεί ή να περιοριστεί το άνοιγμά της. Εξάλλου, η είσοδος αέρα από την τεφρολεκάνη προβλέπεται και συμβάλλει στη δημιουργία της απαραίτητης

άνωσης στο κρύο κάτω μέρος της εστίας. Τυχόν αύξηση του ποσοστού του αέρα που εισέρχεται από τη διαμόρφωση της τεφροδόχου λεκάνης μπορεί να οφείλεται στη λειτουργία του ανεμιστήρα ελκυσμού, οπότε και απαιτείται διορθωτική ρύθμιση ή αντικατάστασή του. [23]

Το μεγαλύτερο ποσοστό του λανθάνοντα αέρα καύσης εισέρχεται στην εστία από τα ανοίγματα των οχετών αναρρόφησης των καυσαερίων. Το γεγονός αυτό οφείλεται, αφενός μεν στην υποπίεση που εμφανίζεται στην περιοχή αυτή της εστίας, κυρίως δε στο κατασκευαστικό άνοιγμα που υποχρεωτικώς υπάρχει στη σύνδεση της εστίας με τους οχετούς. Υπενθυμίζεται ότι η εστία αναρτάται από κριώματα και παραμορφώνεται ελεύθερα προς τα κάτω, λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών του τοιχώματός της, ενώ οι οχετοί εδράζονται σταθερά στο έδαφος (στους μύλους). Υπολογίζεται ότι η μετατόπιση της εστίας λόγω θερμικής παραμόρφωσης μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 70 cm. [23]

4. Βελτιστοποίηση του Προθερμαντήρα Αέρα

Οι μεγαλύτερες απώλειες του προθερμαντήρα αέρα οφείλονται στις διαρροές του, που μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 35% του συνολικού αέρα που αναρροφάται. Οι αυξημένες διαρροές αέρα από το LUVO είναι δυνατόν να έχουν μία σειρά από σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία της μονάδας, όπως οι παρακάτω:

- Αυξημένη κατανάλωση ισχύος από τους ανεμιστήρες ελκυσμού
- Μειωμένες θερμοκρασίες καυσαερίου στην έξοδο και αύξηση του κινδύνου χημικής διάβρωσης (όξινο σημείο δρόσου καυσαερίων)
- Υψηλότερες ταχύτητες των καυσαερίων προς τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, με συνέπεια το μικρότερο χρόνο παραμονής τους σε αυτά και μικρότερη συγκράτηση των σωματιδίων
- Επίδραση στη λειτουργία της μονάδας αποθείωσης (εφόσον αυτή υπάρχει) λόγω της αυξημένης ισχύος του ανεμιστήρα booster [23]

5. Πρόσθετη Εκμετάλλευση της Θερμότητας των Καυσαερίων

Οι απώλειες λόγω θερμών καυσαερίων αποτελούν, μετά το συμπυκνωτή, τη δεύτερη μεγαλύτερη πηγή απωλειών ενός ΑΗΣ. Για λιθανθρακικές μονάδες οι απώλειες αυτές ανέρχονται στο 5% της θερμικής ισχύος του καυσίμου, ενώ για τις λιγνιτικές στο 9% και οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία με την οποία εγκαταλείπουν τα καυσαέρια την εγκατάσταση. Η θερμοκρασία αυτή περιορίζεται προς τα κάτω για λόγους αποφυγής της χημικής διάβρωσης από το όξινο σημείο δρόσου, που αυξάνει ανάλογα με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο και το

ποσοστό μετατροπής του SO_2 σε SO_3 . [23] Πιθανές λύσεις που θα μπορούσαν να δοθούν σε αυτό το πρόβλημα είναι:

- Η χρήση μη μεταλλικών εναλλακτών θερμότητας από πλαστικό για προθέρμανση τροφοδοτικού νερού μετά το LUNO, θα επέτρεπε μία μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων σε επίπεδα χαμηλότερα του όξινου σημείου δρόσου. Το υψηλό κόστος τους όμως δεν κατάφερε να καθιερώσει τη λύση αυτή στη συνήθη πρακτική των κατασκευαστών. [23]
- Λόγω των επικαθήσεων στους εναλλάκτες του ατμοπαραγωγού, τα καυσαέρια εξέρχονται με μεγαλύτερη θερμοκρασία στο περιβάλλον όσο παλαιώνουν οι μονάδες, συνεπώς η αυξημένη αυτή θερμότητα που απορρίπτεται στο περιβάλλον θα μπορούσε να ανακτηθεί με έναν εναλλάκτη θερμότητας για τα καυσαέρια μετά το LUNO και πριν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESP), για την προθέρμανση τροφοδοτικού νερού χαμηλής πίεσης (LP) παράλληλα με τους προθερμαντές νερού-ατμού. [26]

6. Αναδιάταξη Επιφανειών Συναλλαγής, Μεγέθυνση, Σμίκρυνση ή και Αντικατάστασή τους

Οι διορθωτικές επεμβάσεις στις επιφάνειες συναλλαγής ατμοπαραγωγών γίνονται σε εγκαταστάσεις που είτε έχουν υποστεί κατασκευαστικές αλλαγές, π.χ. στο σύστημα καύσης - που επηρέασαν την κατανομή της θερμοκρασίας και της μεταφοράς θερμότητας στο λέβητα - κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, είτε άλλαξαν το είδος του καυσίμου από το αρχικά σχεδιασμένο, είτε επειδή, λόγω ανεπιτυχούς αρχικού σχεδιασμού, κατέστη αναγκαία μία βελτιστοποίηση στη διάταξη και το μέγεθος των επιφανειών συναλλαγής, είτε τέλος γιατί ο εναπομένον χρόνος ζωής των επιφανειών συναλλαγής είναι πλέον μικρός. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, οι επεμβάσεις αποσκοπούν στην επίτευξη των απαιτούμενων παραμέτρων υπερθέρμου και αναθέρμου ατμού με βέλτιστη από ενεργειακής απόψεως διάταξη των επιφανειών συναλλαγής. Ο μη ορθός σχεδιασμός των επιφανειών συναλλαγής και οι μεταβλητές λειτουργικές συνθήκες προκαλούν μηχανική διάβρωση και ρύπανσή τους. Η μηχανική διάβρωση είναι κυρίως συνάρτηση της ταχύτητας των καυσαερίων και της περιεκτικότητας της υπτάμενης τέφρας σε πυρίτιο (Si), ενώ η ρύπανση εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα των καυσαερίων, τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εναλλάκτη και τη διάταξη της επιφάνειας συναλλαγής. Για το βέλτιστο σχεδιασμό προτείνονται εναλλάκτες με ευθεία διάταξη των σωλήνων, ενώ έχουν αναπτυχθεί και χυτοσιδηροί εναλλάκτες, που ελαχιστοποιούν την τάση για ρύπανση. [23]

7. Βελτιστοποίηση του Κρύου άκρου του Σταθμού και Επεμβάσεις στον Ατμοστρόβιλο

Ο όρος βελτιστοποίηση του κρύου άκρου σημαίνει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συμπυκνωτή. Έχουν προταθεί μία σειρά από μέτρα για τον έλεγχο της λειτουργίας του συμπυκνωτή, έτσι ώστε να διακρίνονται εγκαίρως έστω και μικρές αποκλίσεις από το σχεδιασθέν σημείο λειτουργίας του συμπυκνωτή και να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα. Ιδίως σε παλαιότερες εγκαταστάσεις η ισχύς συμπυκνώσεως, και συνεπώς η ισχύς του στροβίλου, μπορούν να μειωθούν λόγω ρυπάνσεως από τη πλευρά του νερού ψύξεως, εισροής αέρα στο συμπυκνωτή και λανθασμένης παροχής ψυκτικού νερού. Είναι δυνατόν να κατασκευαστεί πρόγραμμα διάγνωσης και ελέγχου των αποκλίσεων της λειτουργίας του συμπυκνωτή από το σχεδιασθέν σημείο λειτουργίας. Με μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (on line) της πίεσης του συμπυκνωτή, της θερμοκρασίας του συμπυκνώματος, τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ψυκτικού μέσου και την παροχή όγκου του, υπολογίζονται η θερμοκρασία του συμπυκνωτή, η υπόψυξη του συμπυκνώματος, η ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά των δύο μέσων (ατμού / συμπυκνώματος και ψυκτικού μέσου), η θέρμανση του ψυκτικού μέσου, η μεταφερόμενη θερμότητα και ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας. Τα υπολογιζόμενα μεγέθη συγκρίνονται με αυτά του αρχικώς σχεδιασθέντος σημείου λειτουργίας και ανάλογα με την απόκλιση, μεταβάλλεται η παροχή του ψυκτικού μέσου, οπότε η λειτουργία του συμπυκνωτή προσαρμόζεται με βέλτιστο τρόπο στις παραμέτρους που επηρεάζουν τη λειτουργία του, λαμβάνοντας υπόψη και το φορτίο του σταθμού, τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος. Το παραπάνω μοντέλο έχει ιδιαίτερη αξία στη περίπτωση παλαιών μονάδων, όπου για λειτουργία του συμπυκνωτή απέχει πολύ από τη σχεδιασθείσα και όπου, ως σημείο αναφοράς και αναγωγής των μετρούμενων και υπολογιζόμενων μεγεθών, χρησιμοποιείται η αρχικώς σχεδιασθείσα κατάσταση λειτουργίας. [23]

8. Βελτίωση της Λειτουργίας του Πύργου Ψύξης

Στους καινούργιους λιγνιτικούς σταθμούς που κατασκευάζονται εξ αρχής με μονάδα αποθείωσης των καυσαερίων και σε αυτούς που εξοπλίζονται εκ των υστέρων με τέτοιες μονάδες, είναι συνήθης πρακτική η διοχέτευση του αποθειωμένου καυσαερίου στο πύργο ψύξης αντί στην καμινάδα. Το καθαρό καυσαέριο εισέρχεται με μία ταχύτητα 20 m/s περίπου στο κέντρο του πύργου ψύξης και ελευθερώνεται εν μέσω ρεύματος υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Στην Ελλάδα μονάδα αποθείωσης κατασκευάζεται στον Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης, οπότε για την εφαρμογή του παραπάνω μέτρου θα πρέπει να δημιουργηθεί ο αγωγός του καθαρού καυσαερίου από τη μονάδα αποθείωσης στο πύργο ψύξης, καθώς και οι αντίστοιχα απαιτούμενες οπές στην επιφάνεια του πύργου (προϋπόθεση είναι η πλήρης συγκράτηση της τέφρας από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα). [23]

Επίσης για τη βελτίωση της ψυκτικής ικανότητας του πύργου ψύξεως προτείνεται η αντικατάσταση των πλακών από αμιαντοτσιμέντο με πλάκες υψηλής απόδοσης από PVC. Οι νέες πλάκες, χάρη στη μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής που προσφέρουν μεταξύ νερού και αέρα, μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της θερμοκρασίας ψύξεως περίπου κατά 1,6 K, με αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης του συμπυκνωτή και την αύξηση της ισχύος. Η αντικατάσταση των πλακών και του συστήματος διανομής και ψεκασμού του ψυκτικού νερού σε παλαιούς πύργους ψύξης επιφέρει μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού νερού κατά τουλάχιστον 4K με αντίστοιχα οφέλη για το βαθμό απόδοσης. [23]

9. Εφαρμογή Βέλτιστων Μεθόδων Ξήρανσης του Λιγνίτη

Ο λιγνίτης χαρακτηρίζεται, ως γνωστόν, από υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, που κυμαίνεται μεταξύ 50 και 65%. Με τις συμβατικές μορφές ξήρανσης, η υγρασία που βρίσκεται δεσμευμένη στο λιγνίτη εξατμίζεται και ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μαζί με τα καυσαέρια. Η θερμότητα που απαιτείται για την αποδέσμευση της υγρασίας από το λιγνίτη αποτελεί, για το παραπάνω ποσοστό υγρασίας, το 13 έως 20% της θερμότητας του καιόμενου καυσίμου. Συνεπώς, αν ήταν δυνατόν ο υδρατμός να συμπυκνωθεί εκ νέου και να χρησιμοποιηθεί εσωτερικά στον κύκλο του νερού/ατμού, τότε η άνοδος στο βαθμό απόδοσης θα ήταν σημαντική. [23]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ Α.Η.Σ. ΕΛΛΑΔΑΣ

5.1 Α.Η.Σ. Καρδιάς

5.1.1. Γενική Περιγραφή Α.Η.Σ. Καρδιάς

Ο Ατμοηλεκτρικός σταθμός Καρδιάς βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στο νομό Κοζάνης στο 12^ο χιλιόμετρο του εθνικού δρόμου Κοζάνης-Πτολεμαΐδας, σε υψόμετρο 674m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο σταθμός έγινε στην περιοχή λόγω της ανευρέσεως κοιτασμάτων λιγνίτη, που σαν καύσιμο είναι η πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [27]

Ο σταθμός αποτελείται από 4 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 300MW έκαστη, που μπήκαν σε λειτουργία διαδοχικά το 1974 η Νο.Ι, το 1975 η Νο.ΙΙ, το 1980 η Νο.ΙΙΙ και το 1981 η Νο.ΙV. Η κατασκευή των 2 πρώτων μονάδων έγινε από το γαλλικό οίκο της ALSTHOM και των 2 επόμενων από κοινοπραξία σοβιετικών και γερμανικών εταιριών. [27]

ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΡΔΙΑΣ



ΔΗΜΟΣΙΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Εικόνα 5.1.1. Άποψη Α.Η.Σ. Καρδιάς, [27]

Η μέση ημερήσια κατανάλωση λιγνίτη με τις 4 μονάδες σε πλήρες φορτίο είναι 54.000 τόνους περίπου, η δε αντίστοιχη παραγωγή ανέρχεται σε 28.800.000

kWh. Για τη λειτουργία του σταθμού, εκτός του λιγνίτη, χρειάζεται και ψυκτικό νερό. Η απαιτούμενη ποσότητα ψυκτικού νερού αντλείται από τις λίμνες Βεγορίτιδα και Αλιάκμονα και είναι περίπου 65.000m³ ημερησίως. [27]

5.1.2. Ανάλυση Εξοπλισμού Α.Η.Σ. Καρδιάς III – Συνθήκες Σχεδιασμού

Ο λιγνίτης μεταφέρεται από τα ορυχεία στον Α.Η.Σ. Καρδιάς με ταινιόδρομους μήκους 4.000m περίπου και ικανότητας μεταφοράς 6.000 τόνων την ώρα. Ο λιγνίτης αποθηκεύεται στον χώρο της αυλής ή τροφοδοτεί τους λέβητες, αφού περάσει από τους σπαστήρες. Τα κατάλοιπα της καύσης του λιγνίτη (τέφρα), που είναι περίπου 6.500 τόνοι ημερησίως, μεταφέρονται με ταινιόδρομους στο ορυχείο και εναποτίθενται μαζί με τα υπερκείμενα της εξόρυξης του λιγνίτη. [27]



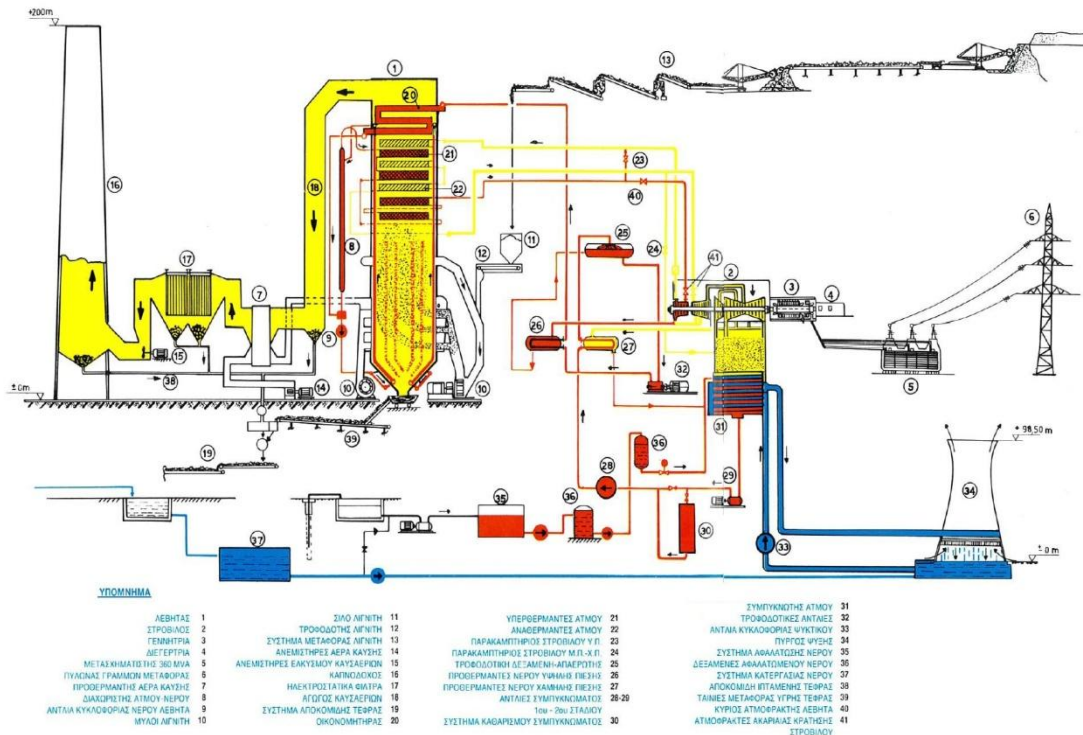
Εικόνα 5.1.2. Άποψη ορυχείου Καρδιάς

Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα III του Α.Η.Σ. Καρδιάς, σχεδιάστηκε σύμφωνα με την ακόλουθη σύσταση καυσίμου:

<u>Ανάλυση καυσίμου</u>		<u>Στοιχειακή Ανάλυση Λιγνίτη</u>	
Υγρασία (H ₂ O)	57,0%	Υγρασία (H ₂ O)	57,0%
Τέφρα	13,0%	Τέφρα	13,0%
Πτητικά + CO ₂	17,8%	Άνθρακας	18,4%
Μόνιμος Άνθρακας	12,2%	H ₂	1,65%
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη - HHV (kcal/kg)	1750	O ₂	8,15%
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη - LHV (kcal/kg)	1320	N ₂	0,5%
		S	0,3%
		CO ₂	1,0%

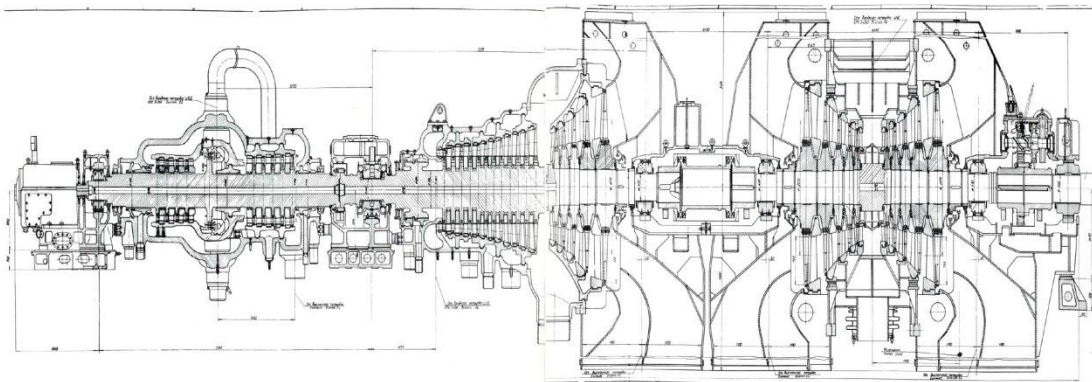
Πίνακας 5.1.1. Σύσταση λιγνίτη μονάδας Καρδιά III, [28]

Η μονάδα III του Α.Η.Σ. Καρδιάς (όπου για ευκολία στη συνέχεια θα αναφέρεται ως Καρδιά III) είναι σχεδιασμένη να αποδίδει ισχύ 300MW, μέσω τριών ατμοστροβίλων, υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης. Η εικόνα 5.1.3 αποτελεί ένα περιεκτικό σκαρίφημα, για την περιγραφή λειτουργίας της Καρδιάς III:



Εικόνα 5.1.3. Σχηματικό διάγραμμα Καρδιάς III, [27]

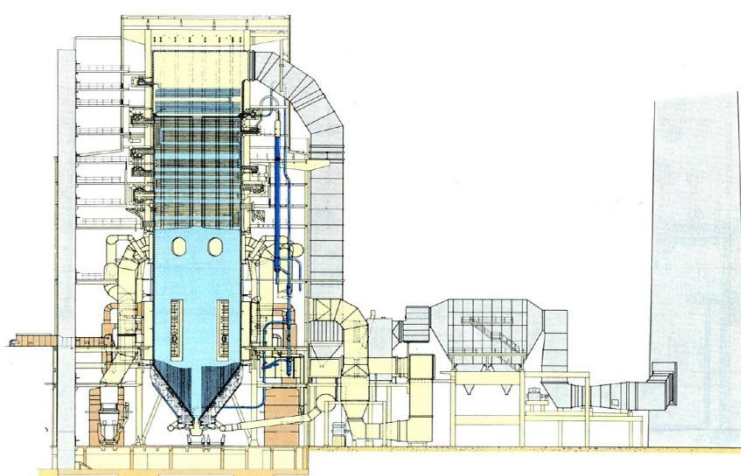
Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού, αλλά και με την εικόνα 5.1.3, ο λέβητας της Καρδιάς III τροφοδοτεί τον στρόβιλο υψηλής πίεσης με υπέρθερμο ατμό, ο οποίος μετά στην έξοδο του επιστρέφει στον λέβητα για αναθέρμανση μέχρι την ίδια θερμοκρασία με τον υπέρθερμο ατμό. Στη συνέχεια ο ανάθερμος ατμός οδηγείται στον στρόβιλο μέσης πίεσης και τέλος στον στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Η άτρακτος των στροβίλων, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.1.4, είναι ενιαία, στρέφεται με 3000 στροφές/λεπτό και είναι συνδεδεμένη με γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Η κατασκευή των στροβίλων είναι σοβιετική του εργοστασίου Leningrad Metal Works και είναι τύπου δράσης.



Εικόνα 5.1.4. Στρόβιλος Καρδιάς III, [27]

Από τους στροβίλους απομαστεύεται ατμός για την προθέρμανση του νερού, πριν την είσοδο του στον οικονομητήρα. Ο συνολικός αριθμός απομαστεύσεων είναι επτά. Οι τρεις πρώτοι είναι χαμηλής πίεσης, κλειστού τύπου με συμπύκνωμα προς τα πίσω. Ο τέταρτος είναι ανοικτού τύπου και χρησιμοποιείται για την απαερίωση του νερού κυκλοφορίας (απαερωτής). Οι τρεις τελευταίοι είναι υψηλής πίεσης, κλειστού τύπου με συμπύκνωμα προς τα πίσω, το οποίο καταλήγει στον απαερωτή.

Ο λέβητας είναι τύπου SULZER βεβιασμένης ροής, επαπτομενικής καύσης (με καυστήρες λιγνίτη υπό γωνία) κονιοποιημένου λιγνίτη, θαλάμου καύσης με υποπίεση, ημι-υπαίθριου τύπου. Η εικόνα 5.1.5 παρουσιάζει τη μορφή του περιγραφόμενου λέβητα μαζί με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και την καπνοδόχο. [27]



Εικόνα 5.1.5. Λέβητας Καρδιάς III, [27]

Συμμετρικά γύρω από το λέβητα είναι τοποθετημένοι 8 μύλοι με τους αντίστοιχους τροφοδότες λιγνίτη, αγωγούς θερμών καυσαερίων και καυστήρες. Για πλήρες φορτίο λειτουργούν 7 μύλοι και ένας είναι εφεδρικός. [27]

Ο αέρας καύσης παρέχεται με δύο ανεμιστήρες αξονικής ροής ισχύος 2.200 kW και παροχή αέρα $289 \frac{m^3}{sec}$ ο καθένας. Για την αναρρόφηση των καυσαερίων υπάρχουν 2 ανεμιστήρες ελκυσμού ισχύος 2.500 kW και παροχής $525 \frac{m^3}{sec}$ ο καθένας. [27] Ο αέρας καύσης πριν την είσοδο του στην εστία, διέρχεται από τον περιστροφικό εναλλάκτη θερμότητας (LUVO), με αποτέλεσμα την προθέρμανσή του.

Η τροφοδότηση του λέβητα με νερό γίνεται με τρεις αντλίες ισχύος 5.500 kW και παροχής $550 \frac{tons}{hr}$ η κάθε μια. Σε πλήρες φορτίο είναι σε λειτουργία οι δύο και η τρίτη εφεδρική. Για την βεβιασμένη κυκλοφορία του νερού στον λέβητα υπάρχουν δύο αντλίες ισχύος 450 kW και παροχής $525 \frac{lt}{sec}$, εκ των οποίων η μία βρίσκεται σε λειτουργία και η άλλη σε εφεδρεία. [27]

Τέλος, μέσα στο λέβητα γίνεται η ατμοποίηση, η υπερθέρμανση και η αναθέρμανση του νερού. Η ατμοποίηση του νερού γίνεται σε σωλήνες που είναι τοποθετημένοι περιμετρικά του λέβητα. Στη συνέχεια ο ατμός υπερθερμαίνεται διερχόμενος από τρεις διατάξεις υπερθερμαντών. Ο ατμός που επιστέφει στον λέβητα μετά τον στρόβιλο υψηλής πίεσης για αναθέρμανση διέρχεται επίσης από 3 σειρές αναθερμαντών, οι οποίες είναι εναλλάξ τοποθετημένες με τους υπερθερμαντές. Για την τελική ρύθμιση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου και του ανάθερμου ατμού, γίνεται ψεκασμός νερού από την έξοδο του τελευταίου προθερμαντή και από την έξοδο του απαερωτή αντίστοιχα. Την τελευταία επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας μεταξύ νερού και καυσαερίων αποτελεί ο οικονομητήρας, με σκοπό την τελική προθέρμανση του νερού πριν την ατμοποίηση. Τα παραπάνω αποτυπώνονται γραφικά στην εικόνα 5.1.3, αλλά προκύπτουν και από την τεχνική περιγραφή του σταθμού.

5.1.3. Μοντελοποίηση Α.Η.Σ. Καρδιάς III σε συνθήκες σχεδιασμού

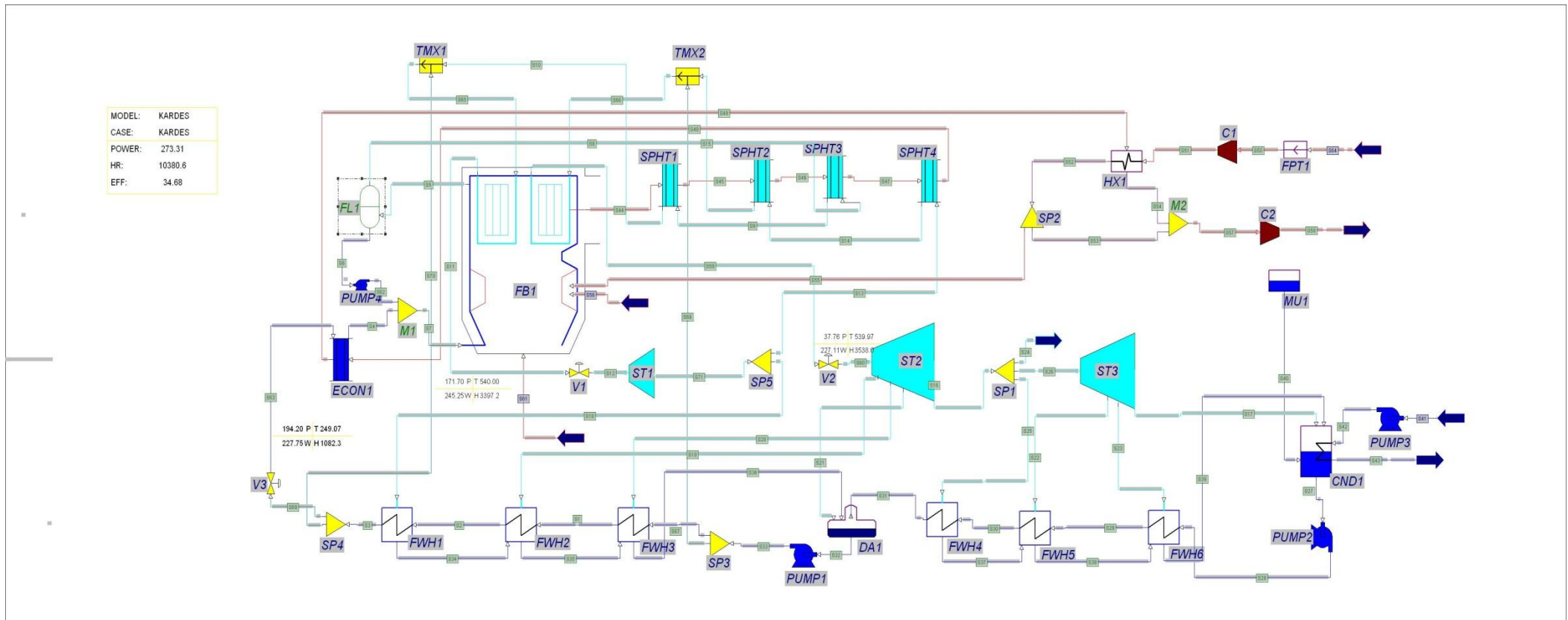
Σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή του σταθμού και με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μοντελοποιήθηκε η λειτουργία της Καρδιάς III με χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Gate Cycle. Στόχος της μοντελοποίησης είναι η εξέταση της παρούσας κατάστασης λειτουργίας του σταθμού και οι δυνατότητες αύξησης του βαθμού απόδοσης της μονάδας από την εφαρμογή βελτιωτικών δράσεων. Στην εικόνα 5.1.6 φαίνεται το μονογραμμικό διάγραμμα του μοντελοποιημένου σταθμού στο Gate Cycle.

Σε πρώτη φάση, σύμφωνα με την ως άνω περίληψη του μηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας, μοντελοποιήθηκε ο σταθμός όπως φαίνεται στην εικόνα 5.1.6, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η ρύθμιση αυτού του εξοπλισμού σε τιμές σχεδιασμού. Τα εξαρτήματα από τα οποία απαρτίζεται είναι τα εξής:

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΟΛΙΑ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Λέβητας	FB1	Περιλαμβάνει την εστία, τον ατμοποιητή, και τον τελευταίο υπερθερμαντή και αναθερμαντή, πριν την έξοδο του ατμού από τον λέβητα
Ατμοστρόβιλος	ST1, ST2, ST3	Υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης αντίστοιχα
Υπερθερμαντές	SPHT1, SPHT3	Δύο υπολειπόμενοι υπερθερμαντές
Αναθερμαντές	SPHT2, SPHT4	Δύο υπολειπόμενοι αναθερμαντές
Ψεκασμός	TMX1, TMX2	Ψεκασμός για τελική ρύθμιση θερμοκρασίας εξόδου από τον υπερθερμαντή και τον αναθερμαντή αντίστοιχα
Διαχωριστής	FL1	Για τον διαχωρισμό νερού από τον ατμό στον λέβητα
Οικονομητήρας	ECON1	
LUVO	HX1	

Ανεμιστήρες	C1, C2	Ανεμιστήρας για την εισαγωγή αέρα και ανεμιστήρας για την εξαγωγή των καυσαερίων, αντίστοιχα
Ρυθμιστής Θερμοκρασίας, Πίεσης, Παροχής	FPT1	Χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της θερμοκρασίας αέρα καύσης πριν τον LUVO
Προθερμαντές νερού Χαμηλής Πίεσης (ΧΠ)	FWH6, FWH5, FWH4	Το συμπύκνωμα των προθερμαντών ΧΠ οδηγείται προς τα πίσω και καταλήγει στον συμπυκνωτή
Απαερωτής	DA1	
Προθερμαντές νερού Υψηλής Πίεσης (ΥΠ)	FWH3, FWH2, FWH1	Το συμπύκνωμα των προθερμαντών ΥΠ οδηγείται προς τα πίσω και καταλήγει στον απαερωτή
Τροφοδοσία νερού	MU1	Καλύπτει τις όποιες απώλειες νερού προς το περιβάλλον (διαρροές) – make up
Συμπυκνωτής (Ψυγείο)	CND1	
Αντλίες	PUMP1	Αντλία τροφοδοσίας
	PUMP2	Αντλία συμπυκνώματος
	PUMP3	Αντλία ψυκτικού νερού
	PUMP4	Αντλία εξαναγκασμού ροής στον διαχωριστή
Βαλβίδες	V1, V2, V3	Για τη ρύθμιση της πίεσης πριν τον ατμοστρόβιλο ΥΠ, τον ΜΠ και τον οικονομητή αντίστοιχα
Διακλαδώσεις	SP1	Το ρεύμα ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο ΜΠ χωρίζεται σε 3 ρεύματα, ένα για τον ατμοστρόβιλο ΧΠ, ένα για προθερμαντή ΧΠ (FWH4) και ένα για το περιβάλλον, που υποδηλώνει τις διαρροές
	SP2	Το θερμό ρεύμα αέρα μετά τον LUVO, χωρίζεται σε αυτό που οδηγείται στην εστία προς καύση και σε αυτό που οδηγείται στα καυσαέρια, υποδηλώνοντας τη διαρροή στον LUVO (από το SP2 ρυθμίζεται αυτή η διαρροή)
	SP3	Ένα μέρος μετά την αντλία τροφοδοσίας οδηγείται για ψεκασμό του ανάθερμου ατμού, με σκοπό τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του, το υπόλοιπο ρεύμα νερού συνεχίζει για προθέρμανση στους προθερμαντές ΥΠ
	SP4	Ένα μέρος μετά τον τελευταίο προθερμαντή ΥΠ οδηγείται για ψεκασμό του υπέρθερμου ατμού, με σκοπό τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του, το υπόλοιπο οδηγείται στον ECO
	SP5	Το ρεύμα εξόδου από τον ατμοστρόβιλο ΥΠ, χωρίζεται σε αυτό που οδηγείται προς αναθέρμανση και σε μια απομάστευση προς τον τελευταίο προθερμαντή ΥΠ
Μίκτες	M1	Ανάμιξη ρεύματος διαρροής αέρα από LUVO με ρεύμα καυσαερίων
	M2	Ανάμιξη ρεύματος νερού από ECO με ρεύμα συμπυκνωμάτων (νερού) από διαχωριστή

Πίνακας 5.1.2. Μοντελοποιημένος εξοπλισμός στο Gate Cycle



Εικόνα 5.1.6. Μοντελοποίηση Καρδιάς III στο Gate Cycle

Στη συνέχεια ακολουθεί η ρύθμιση των ως άνω εξαρτημάτων σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευής της Καρδιάς III. Η ρύθμιση θα αναλυθεί σε ενότητες. Τα τελικά νούμερα τα οποία θα δοθούν παρακάτω είναι αποτέλεσμα αρκετών συνδυασμών και εκτελέσεων του προγράμματος μέχρι την τελική σύγκλιση, με κριτήρια:

- i. Την επίτευξη της μικτής ισχύος των 300 MW
- ii. Επίτευξη αναφερόμενης ατμοπαραγωγής των $883 \text{ t/h} \approx 245,3 \text{ kg/sec}$
- iii. Επίτευξη αναφερόμενης θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων 157°C

Εστία

- Επιλογή στερεού καυσίμου από το κεντρικό μενού, βάζοντας την τιμή 1 στην επιλογή *Solid*.
- Ρυθμίσεις στερεού καυσίμου μέσω της του μενού *settings*:
 1. Στο μενού *Heating Value Method* επιλέγεται το *LHVar* (Lower Heating Value as received) και τοποθετείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη για την οποία έχει γίνει ο σχεδιασμός της μονάδας και έχει την τιμή $1.320 \text{ kcal/kg} \approx 5.526,58 \text{ kJ/kg}$.
 2. Εισάγεται επιπλέον μια τυπική τιμή για την κατανάλωση ενέργειας από τους σπαστήρες λιγνίτη στο μενού *Pulverized specific power consumption* η οποία είναι $0,02 \text{ kWh/kg}$.
- Στο μενού *Design* γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για τα ρεύματα εξόδου από τον λέβητα:
 1. Για την έξοδο του ατμοποιητή (*Water Walls Design Method*) επιλέγεται από το μενού να δίνεται η ξηρότητα του παραγόμενου ατμού (*Exit Quality*), για την οποία επιλέγεται τιμή 95%.
 2. Για την έξοδο του υπερθερμαντή (*Superheater Design Method*), όπου όπως έχει προαναφερθεί μέσα στην εστία βρίσκεται ο τελευταίος από τις τρεις σειρές υπερθερμαντών της μονάδας, επιλέγεται από το μενού να δίνεται η θερμοκρασία εξόδου (*Exit Temperature*), η τιμή της οποίας είναι 540°C .
 3. Για την έξοδο του αναθερμαντή (*Reheater Design Method*), όπου όπως έχει προαναφερθεί μέσα στην εστία βρίσκεται ο τελευταίος από τις τρεις σειρές αναθερμαντών της μονάδας, επιλέγεται από το μενού να δίνεται η θερμοκρασία εξόδου (*Exit Temperature*), η τιμή της οποίας είναι 540°C .
- Τα χαρακτηριστικά της καύσης ρυθμίζονται αντίστοιχα στο μενού *Combustion*:
 1. Επιλέγεται από το μενού *Combustion Controls* η επιλογή *Fraction Excess Air* (περίσσεια αέρα), όπου η τιμή της είναι 25%. Η τιμή αυτή προήλθε μετά από δοκιμές, με σκοπό την επίτευξη της τιμής 1463 t/h για την παροχή

αέρα στην είσοδο του LUVO, που δίνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού.

2. Η θερμοκρασία των καυσαερίων μετά την εστία (*Flue Gas Exit Temperature*), ουσιαστικά η θερμοκρασία μετά τον πρώτο υπερθερμαντή και αναθερμαντή, έχει την τιμή 719°C.

➤ Τέλος εισάγονται και οι πτώσεις πίεσης στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας μέσα στην εστία, από το μενού *Pressure Loss*:

1. Στον ατμοποιητή (*Water Side*) → 3 bar
2. Στον υπερθερμαντή (*Superheater*) → 7,8 bar
3. Στον αναθερμαντή (*Reheater*) → 1 bar

Τα παραπάνω μεγέθη της εστίας παρέμεναν σταθερά σε όλες τις δοκιμές μέχρι την τελική σύγκλιση, καθώς τα περισσότερα από αυτά είναι συνθήκες σχεδιασμού της μονάδας. Το σημαντικότερο μέγεθος του οποίου η τιμή εισάγεται στην εστία είναι η παροχή καυσίμου, καθώς μέσω αυτής της τιμής καθορίζεται η ατμοπαραγωγή, η ισχύς, αλλά και ο βαθμός απόδοσης της μονάδας. Ύστερα από δοκιμές, το πρόγραμμα συνέκλινε με παροχή καυσίμου $142,6 \text{ kg/sec} \approx 513,4 \text{ t/h}$.

Καυσαέρια – Υπόλοιπες επιφάνειες συναλλαγής

Ο εξοπλισμός του λέβητα (FB1) στη μοντελοποίηση με το Gate Cycle περιλαμβάνει τον υπερθερμαντή και τον αναθερμαντή υψηλής θερμοκρασίας. Συνεπώς τα θερμά καυσαέρια ύστερα από τον αναθερμαντή υψηλής θερμοκρασίας έρχονται σε επαφή με τους υπόλοιπους δύο υπερθερμαντές και αναθερμαντές, με τον ECO και τέλος με τον LUVO. Αναλυτικότερα η πορεία των καυσαερίων μαζί με την πτώση της θερμοκρασίας των, φαίνεται στην εικόνα 5.1.7.



Εικόνα 5.1.7. Πορεία καυσαερίου Καρδιά III

Η μοντελοποίηση του αντίστοιχου εξοπλισμού που φαίνεται στην εικόνα 5.1.7 και πιο συγκεκριμένα από τον υπερθερμαντή μέσης θερμοκρασίας μέχρι την έξοδο, έγινε σύμφωνα με την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων (*Gas Outlet Temperature*), όπως φαίνονται στην προαναφερόμενη εικόνα.

Ατμοστρόβιλος

Η καρδιά III, σύμφωνα και με την εικόνα 5.1.4, αποτελείται από ένα ατμοστρόβιλο με βαθμίδες υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης. Από τη βαθμίδα υψηλής πίεσης απομαστεύεται ατμός για τον τελευταίο προθερμαντήρα νερού υψηλής πίεσης. Στον ατμοστρόβιλο μέσης πίεσης γίνονται τρεις απομαστεύσεις για τους προθερμαντές, ενώ μια τέταρτη γίνεται μετά την έξοδο από αυτόν και πριν την είσοδο στον ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης. Τέλος, στον ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης γίνονται δυο ενδιάμεσες απομαστεύσεις, επίσης για τους προθερμαντές νερού. Οι πιέσεις απομαστεύσεων καθορίζονται σύμφωνα με την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού μετά τον προθερμαντή και θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο. Επιπλέον, θεωρείται διαρροή ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο μέσης πίεσης $3 \frac{kg}{s} \approx 10,5 \frac{t}{h}$, τιμή η οποία περιλαμβάνει οποιαδήποτε πιθανή διαρροή ατμού ή νερού. Ακολουθεί αναλυτικός πίνακας με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των ατμοστροβίλων της Καρδιάς III.

	<u>Ατμοστρόβιλος Υψηλής Πίεσης</u>	<u>Ατμοστρόβιλος Μέσης Πίεσης</u>	<u>Ατμοστρόβιλος Χαμηλής Πίεσης</u>
Πίεση εισόδου (bar)	171,60	37,76	2
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	540,00	540	192,52
Παροχή εισόδου (kg/s)	245,25	227,11	179,57
Πίεση εξόδου (bar)	39,82	2	0,063
Παροχή εξόδου (kg/s)	245,25	192,52	166,29
Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης (%)	80%	87%	87%
Παραγόμενη Μηχανική Ισχύς (kW)	80.227	143.596	82.234

Πίνακας 5.1.3. Χαρακτηριστικά ατμοστροβίλων Καρδιάς III

Τα χαρακτηριστικά εισόδου (πίεση, θερμοκρασία και παροχή εισόδου) στους ατμοστροβίλους καθορίζονται από τον εξοπλισμό που προηγείται αυτών, ο οποίος έχει ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε τα μεγέθη αυτά να είναι σύμφωνα με τις συνθήκες σχεδιασμού. Η παροχή εξόδου και η παραγόμενη μηχανική ισχύς προκύπτουν από το πρόγραμμα. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης εισάγεται από το μενού *Design Point Efficiency method* επιλέγοντας *Isentropic Expansion Efficiency*. Οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης των ατμοστροβίλων δεν είναι γνωστοί μέσω της τεχνικής

περιγραφής του σταθμού, ενώ τα διαθέσιμα στοιχεία δεν αρκούν για τον υπολογισμό αυτών. Συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν τυπικές τιμές ισεντροπικών βαθμών απόδοσης. Τέλος, η πίεση εξόδου είναι γνωστή από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού και εισάγεται από το μενού *Inlet/Exit Pressure* στην επιλογή *Outlet*.

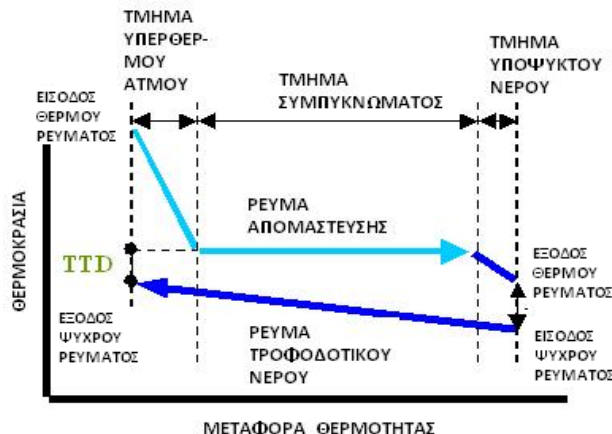
Όπως ειπώθηκε παραπάνω, η τελική ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται με ψεκασμό. Η παροχή ψεκασμού είναι γνωστή και ρυθμίζεται αντίστοιχα ο εξοπλισμός από το μενού *Temperature control method* μέσω της επιλογής *control flow*. Για τον υπέρθερμο ατμό η παροχή ψεκασμού είναι $63 \text{ t/h} = 17,5 \text{ kg/sec}$,

ενώ για τον ανάθερμο ατμό η παροχή ψεκασμού είναι $10 \text{ t/h} = 2,778 \text{ kg/sec}$.

Τροφοδοτικό νερό – Προθερμαντές & Αντλίες

Στη μονάδα της Καρδιάς III, γίνονται επτά απομαστεύσεις από τους ατμοστροβίλους για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού μέχρι τους 250°C, πριν την είσοδο του στον ECO. Οι τρεις από αυτές οδηγούνται σε προθερμαντές χαμηλής πίεσης, η τέταρτη στον απαερωτή, ενώ οι τρεις τελευταίες οδηγούνται στους προθερμαντές υψηλής πίεσης.

Από τα διαθέσιμα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού δεν υπήρχαν στοιχεία σχετικά με τις πιέσεις και τις παροχές των απομαστεύσεων. Για το λόγο αυτό τα χαρακτηριστικά των απομαστεύσεων υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη Τερματική Διαφορά Θερμοκρασίας (*Terminal Temperature Difference/TTD*). Σύμφωνα με το TTD, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1.8, η διαφορά της θερμοκρασίας του συμπυκνώματος της απομάστευσης (θερμό ρεύμα) από τη θερμοκρασία εξόδου του τροφοδοτικού νερού (ψυχρό ρεύμα), πρέπει να είναι 2-3°C. Όσον αφορά τη θερμοκρασία εξόδου του τροφοδοτικού νερού (έξοδος ψυχρού ρεύματος) από κάθε προθερμαντή, λαμβάνεται από τα στοιχεία λειτουργίας του σταθμού της Δ.Ε.Η. για το έτος 2007. Συνεπώς στη θερμοκρασία εξόδου τροφοδοτικού νερού κάθε προθερμαντή, προστίθενται 2-3°C και στο αποτέλεσμα αυτής λαμβάνεται η πίεση κορεσμού από τους πίνακες νερού-υδρατμού. Η πίεση αυτή είναι η πίεση απομάστευσης από τον ατμοστρόβιλο. Εξάριση αποτελεί η πίεση απομάστευσης για τον απαερωτή, η οποία είναι η πίεση λειτουργίας του απαερωτή.



Εικόνα 5.1.8. Λειτουργία προθερμαντή τροφοδοτικού νερού

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στον πίνακα 5.1.4., όπου σημειώνεται πως η πρώτη στήλη προέρχεται από τα δεδομένα λειτουργίας της Καρδιάς III από τη Δ.Ε.Η. και αποτελεί τον μέσο όρο τιμών για το έτος 2007, ενώ με κόκκινο σημειώνονται οι μόνες τιμές που είναι γνωστές από την τεχνική έκθεση του σταθμού. Τέλος αναφέρεται πως η παροχή της εκάστοτε απομάστευσης ρυθμίζεται από το πρόγραμμα με στόχο την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας.

	Μ.Ο. Θερμ. Εξόδου Τροφod. Νερού από Προθερμ. (°C) – Δ.Ε.Η	TTD (°C)	Πίεση απομάστευσης (bar)	Παροχή απομάστευσης (kg/s)
Προθερμαντής 1	52	2	0,15	4,81
Προθερμαντής 2	78	3	0,50	8,46
Προθερμαντής 3	118	3	2,00	12,90
Απαερωτής	148		5,50	10,26
Προθερμαντής 5	172	2	8,70	7,31
Προθερμαντής 6	209	2	19,50	14,07
Προθερμαντής 7	250	1	39,84	20,92

Πίνακας 5.1.4. Λειτουργία προθερμαντών

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκαν τα άγνωστα μεγέθη των απομαστεύσεων. Η πίεση λειτουργίας του απαερωτή ορίστηκε στα 5 bar. Για την υλοποίηση των παραπάνω, στους προθερμαντές από το μενού *Calculation Method* επιλέχθηκε το *Terminal Temperature Difference* και εισήχθησαν οι τιμές της στήλης TTD του πίνακα 5.1.4, ενώ οι πιέσεις απομαστεύσεων ορίστηκαν σε κάθε ατμοστρόβιλο στο μενού *Extractions*. Σε κάθε προθερμαντή υπολογίστηκε πτώση πίεσης του τροφοδοτικού νερού της τάξης των 0,6 bar, η οποία εισάγεται στο μενού *Losses* στην επιλογή *Cold Side Pressure Drop*.

Η ρύθμιση των αντλιών έγινε με στόχο την επίτευξη της απαραίτητης πίεσης στον αντίστοιχο για κάθε αντλία εξοπλισμό. Συνοπτικά τα δεδομένα λειτουργίας των αντλιών του συστήματος αποτυπώνονται στον πίνακα 5.1.5.

	Πίεση εισόδου (bar)	Πίεση εξόδου (bar)	Διαχειριζόμενη Παροχή (kg/s)	Κατανάλωση ισχύος (kW)
Αντλία Συμπυκνώματος	0,063	7,0	195,5	160,6
Τροφοδοτική Αντλία	5,0	196,2	248,0	6.078,7
Αντλία ψυκτικού μέσου	1,013	3,0	8.905,5	2.087,6
Αντλία εξαναγκασμού ροής	189,5	193,0	12,0	9,5

Πίνακας 5.1.5. Λειτουργία αντλιών

Η ρύθμιση της πίεση εξόδου των αντλιών σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.1.5, έγινε από το μενού *Pump Exit Pressure*, ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς δίνεται από το πρόγραμμα στο *Report* κάθε αντλίας.

Τέλος, ο συμπυκνωτής (ψυγείο) λειτουργεί σε πίεση κενού των 63 mbar, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού νερού είναι 10°C και η πτώση πίεσης του είναι 1,5 bar.

Αέρας καύσης

Ο αέρας καύσης πριν την είσοδο του στον προθερμαντή αέρα - καυσαερίων (LUVO), προθερμαίνεται μέχρι τους 50°C. Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού δεν αναφέρεται ο τρόπος προθέρμανσης του αέρα.

Στη συνέχεια, ο αέρας καύσης πριν την είσοδο του στην εστία διέρχεται από το LUVO, με σκοπό την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του. Ο LUVO αποτελεί την τελευταία επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας των καυσαερίων, καθώς μετά από αυτόν ακολουθούν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και η καπνοδόχος. Εξαιτίας της κατασκευής του, στον LUVO παρατηρείται διαρροή θερμού αέρα προς τα καυσαέρια. Για την Καρδιά III η τιμή σχεδιασμού της διαρροής αυτής υπολογίζεται παρακάτω σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού.

$$\text{Διαρροή} = \frac{\text{Είσοδος αέρα LUVO} - \text{Έξοδος αέρα LUVO}}{\text{Είσοδος αέρα LUVO}} = \frac{1463 \text{ t/h} - 1354 \text{ t/h}}{1463 \text{ t/h}} \approx 7,5\%$$

Η διαρροή στο Gate Cycle μοντελοποιήθηκε με ένα διαχωριστή (SP2), ο οποίος μετά τον LUVO επιστρέφει την παραπάνω υπολογισμένη τιμή στο ρεύμα των καυσαερίων μέσω ενός μίκτη. Η τιμή αυτή εισάγεται στο μενού *Specify Flow Fraction* του διαχωριστή, καθώς εισάγεται ως ποσοστό και όχι ως απόλυτη τιμή. Εξαιτίας της διαρροής αέρα στο LUVO, αυξάνεται η περιεκτικότητα O₂ στα καυσαέρια. Η τιμή σχεδιασμού ΔO₂ στην περιοχή του LUVO είναι 0,9%, τιμή η οποία επαληθεύεται από το πρόγραμμα καθώς τα καυσαέρια που αφήνουν την εστία

έχουν περιεκτικότητα σε $O_2 = 2,68\%$, ενώ τα καυσαέρια που αφήνουν τον LUVO έχουν περιεκτικότητα σε $O_2 = 3,58\%$, συνεπώς $\Delta O_2=0,9\%$. Οι τιμές αυτές φαίνονται στα *Report* του λέβητα (FB1) και του μίκτη στον LUVO (M2), αντίστοιχα.

Στην εστία πέρα από τον προθερμασμένο αέρα που προέρχεται από τον LUVO, εισέρχεται και παρασιτικός αέρας. Σύμφωνα με το σχεδιασμό της μονάδας η τιμή αυτή είναι $10,5\%$ της συνολικής παροχής αέρα προς καύση στην εστία. Η συνολική παροχή είναι ο αέρας από τον LUVO και ο παρασιτικός αέρας. Ο παρασιτικός αέρας εισάγεται στο ρεύμα *Air/Gas/Fuel Source* της εστίας, στο μενού *Flowrate*, αφού πρώτα γίνει η επιλογή *Air*. Η παροχή του αέρα από τον LUVO σύμφωνα με την μοντελοποίηση που έγινε στο Gate Cycle έχει τιμή $378,4 \text{ kg/s} \approx 1.362,2 \text{ t/h}$, όπου διαφέρει ελάχιστα από τις συνθήκες σχεδιασμού (1354 t/h), ενώ ο παρασιτικός υπολογίστηκε $45 \text{ kg/s} \approx 162 \text{ t/h}$.

Βαθμοί απόδοσης

Αρχικά θα υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του λέβητα. Όλα τα ρεύματα που εισέρχονται και εξέρχονται στον λέβητα φαίνονται αναλυτικότερα στον πίνακα 5.1.6.

	Παροχή (kg/s)	Ενθαλπία (kJ/kg)	Ισχύς (kW)
ΕΙΣΟΔΟΙ			
Τροφοδοτικό νερό πριν τον ECO	227,75	1.082,27	246.486,99
Ψεκασμός υπέρθερμου	17,50	1.082,27	18.939,73
Ατμός προς αναθέρμανση	224,33	3.070,10	688.715,53
Ψεκασμός ανάθερμου	2,78	651,69	1.811,70
ΣΥΝΟΛΟ:			955.953,95
ΕΞΟΔΟΙ			
Υπέρθερμος ατμός	245,25	3.397,21	833.165,75
Ανάθερμος ατμός	227,11	3.538,00	803.515,18
ΣΥΝΟΛΟ:			1.636.680,93
ΚΑΥΣΙΜΟ			
Λιγνίτης	142,60	5.526,58	788.090,31

Πίνακας 5.1.6. Ρεύματα εισόδου και εξόδου λέβητα

$$\eta_E = \frac{(\text{έξοδος} - \text{είσοδος})}{\text{καύσιμο}} = \frac{(1.636.680,93 - 955.953,95)}{788.090,31} = 86,38\%$$

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Καρδιάς III, ο βαθμός απόδοσης της εστίας (η_E) είναι ίσος με $86,53\%$, ελάχιστα διαφορετικός από τον ως άνω υπολογισμένο βαθμό απόδοσης.

Συνεπώς από τα 788.090,31 kW καυσίμου μεταφέρονται μέσω της εστίας, με βαθμό απόδοσης 86,38%, στο εργαζόμενο μέσο (νερό – ατμός) του συστήματος 680.752,41 kW προς εκμετάλλευση από τον ατμοστρόβιλο. Ο ατμοστρόβιλος σύμφωνα με τον πίνακα 5.1.3 παράγει μηχανική ισχύ 306.057 kW, συνεπώς έχει ένα βαθμό απόδοσης $\eta_T = 306.057 / 680.752,4 = 44,96\%$. Από τα 306.057 kW η ηλεκτρική γεννήτρια με βαθμό απόδοσης $\eta_G = 98\%$ παράγει ηλεκτρική ισχύ 299.936 kW_e ≈ 300 MW_e.

Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της Καρδιάς III, ο σταθμός έχει ιδιοκατανάλωση 26.625 kW_e, άρα η ποσότητα καθαρής ηλεκτρικής ισχύος στο δίκτυο είναι 273.311 kW_e, ενώ το ποσοστό της ιδιοκατανάλωσης υπολογίζεται ως $\eta_{BOP} = 26.625 / 299.936 = 8,88\%$.

Έχοντας υπολογισμένες όλες τις απαραίτητες τιμές ισχύος και βαθμών απόδοσης του συστήματος, είναι δυνατός ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης της μονάδας. Αρχικά θα υπολογιστεί ο μικτός βαθμός απόδοσης, ο οποίος δεν περιλαμβάνει την ιδιοκατανάλωση:

$$\eta_{Gross} = \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \frac{299.936}{788.090,3} = 38,06\%$$

ή

$$\eta_{Gross} = \eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_G = 86,38\% \cdot 44,96\% \cdot 98\% = 38,06\%$$

Ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται ο καθαρός βαθμός απόδοσης της μονάδας, ο οποίος περιλαμβάνει την ιδιοκατανάλωση:

$$\begin{aligned} \eta_{Net} &= \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς} - \text{ισχύς ιδιοκαταναλώσεων}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \\ &= \frac{299.936 - 26.625}{788.090,3} = 34,68\% \end{aligned}$$

ή

$$\eta_{Net} = \eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot (1 - \eta_{BOP}) = 86,38\% \cdot 44,96\% \cdot 98\% \cdot (1 - 8,88\%) = 34,68\%$$

Ανακεφαλαιώνοντας, η Καρδιά III παράγει 300 MW_e από τα οποία παρέχει στο δίκτυο τα 273,3 MW_e, με βαθμό απόδοσης 34,68%. Τα βασικότερα από τα ως άνω μεγέθη είναι διαθέσιμα στο Gate Cycle μέσω του *System Report* και επαληθεύονται σε σχέση με τους παραπάνω υπολογισμούς.

5.1.4. Μοντελοποίηση Υπάρχουσας Κατάστασης Καρδιάς III

Οι σημερινές συνθήκες και τα μεγέθη λειτουργίας της μονάδας διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα του σχεδιασμού λόγω της παλαιότητας της μονάδας. Η Δ.Ε.Η. στην αναφορά λειτουργίας της μονάδας παρέχει μερικά από τα βασικά μεγέθη λειτουργίας τα οποία συγκεντρώνονται στον πίνακα 5.1.7.

Μέγεθος	Κατάσταση σχεδιασμού	Υπάρχουσα Κατάσταση
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων	157°C	200°C
Παρασιτικός αέρας	10,5%	35%
Παροχή ψεκασμού Ανάθερμου	10 t/h	80 t/h
Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού – διαρροές	10 t/h	20 t/h
Κενό Ψυγείου	63 mbar	71 mbar
ΔO ₂ LUVO	0,9%	1,1%
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη λιγνίτη	5526,58 kJ/kg	5300,49 kJ/kg

Πίνακας 5.1.7. Υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας Καρδιάς III

Η μοντελοποίηση της υπάρχουσας κατάστασης της Καρδιάς III βασίστηκε στο μοντέλο της κατάστασης σχεδιασμού, τροποποιώντας ανάλογα τα παραπάνω μεγέθη του πίνακα 5.1.7. Η παροχή καυσίμου αυξάνεται ώστε να παραμείνει σταθερή η παρεχόμενη στην εστία ενέργεια, καθώς όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη έχει μειωθεί. Συνεπώς, σύμφωνα και με τον πίνακα 5.1.6, η παροχή καυσίμου προσαρμόζεται ως $\frac{\text{παρεχόμενη ισχύς καυσίμου}}{\text{θερμογόνος δύναμη}} = \frac{788.090,31 \text{ kW}}{5.300,49 \text{ kJ/kg}} = 148,68 \text{ kg/s}$. Με σκοπό την σύγκριση των δύο μοντέλων διατηρούνται επιπλέον σταθερές οι επιφάνειες συναλλαγής (*Surface Area*) όλων των εναλλακτών θερμότητας (υπερθερμαντές, αναθερμαντές, ECO & LUVO).

Μερικά από τα μεγέθη του πίνακα 5.1.7 είναι αλληλοεξαρτώμενα μεταξύ τους, αυτά τα μεγέθη ρυθμίζονται από κοινού με σκοπό να επιτευχθούν οι παραπάνω αναφερόμενες τιμές. Τα αλληλοεξαρτώμενα μεγέθη είναι ο παρασιτικός αέρας, η διαφορά οξυγόνου πριν και μετά το LUVO (ΔO₂) και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων. Σύμφωνα με τα όσα περιγράφηκαν ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Αλλαγή κενού στο ψυγείο, από τον αντίστοιχο εξοπλισμό (CND1) στο μενού *Method* επιλέγοντας *Desired Pressure*.

- Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (διαρροή νερού), από τον διαχωριστή SP1, όπου μοντελοποιούνται οι διαρροές και εισάγεται η επιθυμητή τιμή στο μενού *Specify Flow*.
- Παροχή ψεκασμού ανάθερμου, από το αντίστοιχο εξοπλισμό (TMX2) εισάγεται η ανάλογη τιμή στο μενού *Control Flow*.
- Αλλαγή κατώτερης θερμογόνου δύναμης λιγνίτη, από την εστία στο μενού *Settings* του καυσίμου στην επιλογή *LHVar* και προσαρμογή της ως άνω υπολογισμένης παροχής καυσίμου.
- Τέλος, ρυθμίζεται ο παρασιτικός αέρας στο 35% του συνόλου (146 kg/s παρασιτικός και 270,7kg/s αέρας από LUVO). Σε αυτό το σημείο το $\Delta O_2 = 0,68\%$ (1,92% O_2 αφήνει την εστία και 2,6% είναι η συγκέντρωση O_2 μετά τον LUVO), ενώ πρέπει να φτάσει το 1,1%. Γι' αυτό το λόγο μεταβάλλουμε τη διαρροή του LUVO στο 12% (από 7,5%) με αποτέλεσμα η συγκέντρωση O_2 μετά τον LUVO να έχει την τιμή 3,03%, άρα το $\Delta O_2 = 1,11\%$. Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων έχει την τιμή 202,8°C.

Σύμφωνα με τις παραπάνω αλλαγές μοντελοποιήθηκε η Καρδιά III στην υπάρχουσα κατάσταση. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει 276.409 kW (με βαθμό απόδοσης 35,074%), ενώ η καθαρή ηλεκτρική παραγωγή (διαθέσιμη στο δίκτυο) είναι 250.024 kW (με βαθμό απόδοσης 31,725%).

5.1.5. Μοντελοποίηση συνθηκών στόχου Καρδιάς III

Η Δ.Ε.Η. προτείνει μια σειρά από δράσεις με σκοπό τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης της μονάδας. Οι στοχοθετημένες προτεινόμενες δράσεις, αλλά και τα μεγέθη που επηρεάζονται φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 5.1.8.

α/α	Δράσεις	Μέγεθος	Υπάρχουσα Κατάσταση	Στόχος
1	Μείωση παρασιτικού αέρα	Παρασιτικός αέρας (%)	35	25
		Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (°C)	200	175
		Παροχή αέρα από LUVO (m ³ /h)	800	900
2	Βελτίωση εσωτερικού καθαρισμού λεβήτων και διατήρηση εσωτερικής καθαρότητας	Παροχή ψεκασμού Ανάθερμου (t/h)	80	55
3	Μείωση διαφυγών ατμού - νερού	Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (t/h)	20	15
4	Κύκλωμα ψυκτικού - συμπίκνωση	Κενό Ψυγείου (mbar)	71	66
5	Στεγανοποίηση LUVO	ΔO_2 LUVO	1,1	0,9
6	Ποιότητα λιγνίτη	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη λιγνίτη (kJ/kg)	5300,49	5526,58

Πίνακας 5.1.8. Δράσεις με σκοπό τη βελτίωση λειτουργίας της Καρδιάς III

Η βελτίωση που επιφέρουν οι παραπάνω δράσεις στον βαθμό απόδοσης της μονάδας, σύμφωνα με τη μοντελοποίηση στο Gate Cycle, παρατίθενται στον πίνακα 5.1.9, σε πλήρη αντιστοιχία με τον πίνακα 5.1.8.

α/α	Μέγεθος	Στόχος	Παραγό μενη ισχύς (kW)	Διαφορά Ισχύος (kW)	Νέος Βαθμός Απόδοσης	Διαφορά Βαθμού Απόδοσης
1	Παρασιτικός αέρας (%)	25	254.676	4.652	32,315%	0,590%
	Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (°C)	175 (185,1*)				
	Παροχή αέρα από LUNO (m ³ /h)	900 (1152*)				
2	Παροχή ψεκασμού Ανάθερμου (t/h)	55	251.948	1.924	31,969%	0,244%
3	Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (t/h)	15	250.639	615	31,803%	0,078%
4	Κενό Ψυγείου (mbar)	66	251.255	1.231	31,881%	0,156%
5	ΔΟ ₂ LUNO	0,9 (9,5%**)	250.080	56	31,732%	0,007%
6	Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη λιγνίτη (kJ/kg)	5526,58***	253.503	3.479	32,166%	0,441%

Πίνακας 5.1.9. Βελτίωση ισχύος και βαθμού απόδοσης Καρδιάς III

* Ο στόχος της μείωσης του ποσοστού του παρασιτικού αέρα επιτεύχθηκε, τα άλλα δύο μεγέθη όμως δεν ρυθμίστηκαν στην τιμή που παρουσιάζει η Δ.Ε.Η., αλλά στις τιμές που φαίνονται στις παρενθέσεις αντίστοιχα

** Η τιμή 9,5% υπολογίστηκε από δοκιμές στο πρόγραμμα Gate Cycle και αφορά το ποσοστό διαρροής αέρα από τον LUNO στα καυσαέρια ώστε να επιτευχθεί ΔΟ₂ ≤0,9%

*** Εφόσον βελτιώνεται η θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη στην αρχική τιμή της προσαρμόζεται ανάλογα η παροχή καυσίμου στην αρχική τιμή των 142,6 kg/s, ώστε η εστία να δέχεται σταθερή τιμή ισχύος από το καύσιμο

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα 5.1.9 τα σημαντικότερα μεγέθη για τη βελτίωση λειτουργίας της Καρδιάς III είναι η θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη και ο παρασιτικός αέρας, ενώ ακολουθούν με μικρότερη, αλλά όχι ασήμαντη επίδραση το κενό του ψυγείου και ο ψεκασμός του ανάθερμου ατμού.

Τέλος, στον πίνακα 5.1.10 παρατίθεται η πρόταση «στόχος» για την Καρδιά III, όπου παρουσιάζεται η βελτίωση του βαθμού απόδοσης από την εφαρμογή του συνόλου των προαναφερθέντων δράσεων.

Κατηγορία μετατροπής	Νέα τιμή μεγέθους	Νέα ισχύς P (kW)	Διαφορά Ισχύος (kW)	Νέος Βαθμός Απόδοσης	Διαφορά Βαθμού Απόδοσης
Θερμογόνος Δύναμη Λιγνίτη	5.526,6 kJ/kg	262.376	12.352	33,291%	1,566%
Κενό Ψυγείου	66 mbar				
Διαρροές	15 t/h				
Ψεκασμός Α/Θ	55 t/h				
Παρασιτικός αέρας	25% (103 kg/s)				
ΔΟ2 (Διαρροή LUVO)	≤0,9% (8,5%)				
T_{exit} καυσαερίων	183,2 °C				

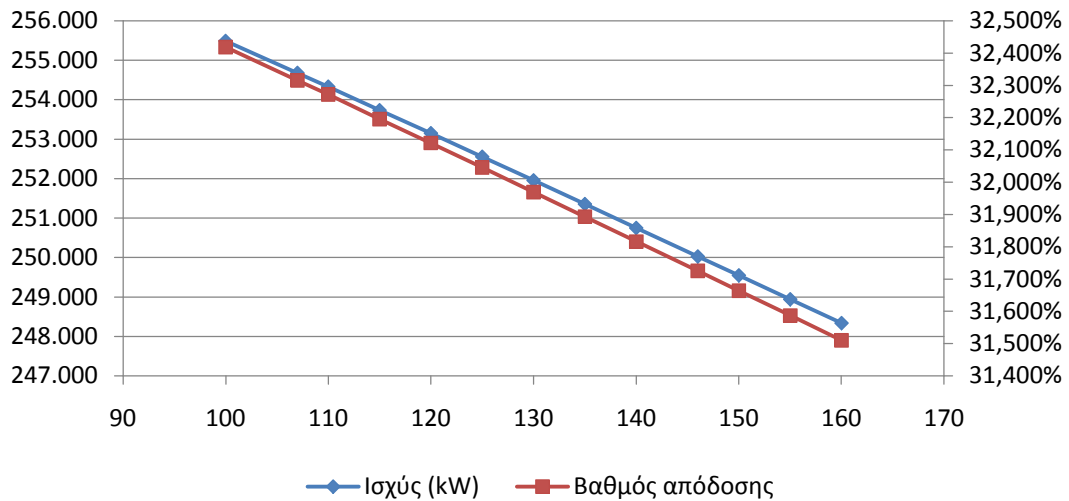
Πίνακας 5.1.10. Τελικά πρόταση «στόχος» Καρδιάς III

Στον πίνακα 5.1.10, στην στήλη της ισχύος, δίνεται η καθαρή παραγόμενη ισχύς (διαθέσιμη στο δίκτυο), ενώ η συνολικά παραγόμενη ισχύς είναι 288.549 MW με βαθμό απόδοσης 36,61%. Σύμφωνα με τους προκαταρτικούς υπολογισμούς της Δ.Ε.Η., η εφαρμογή των δράσεων θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης της Καρδιάς III κατά 1,49%, ενώ σύμφωνα με τη μοντελοποίηση του σταθμού στο Gate Cycle η αύξηση αυτή είναι 1,566%, αποτέλεσμα κοντά στους υπολογισμούς της Δ.Ε.Η..

Στη συνέχεια δίνονται οι παραμετρικές καμπύλες των προαναφερομένων δράσεων ώστε να είναι δυνατή η εποπτεία της λειτουργίας της μονάδας υπό διάφορες τιμές των προαναφερομένων μεγεθών. Θα παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα και σε μορφή διαγράμματος. Στους πίνακες οι τιμές με κόκκινο χρώμα συμβολίζουν την υπάρχουσα κατάσταση και με πράσινο την κατάσταση «στόχος».

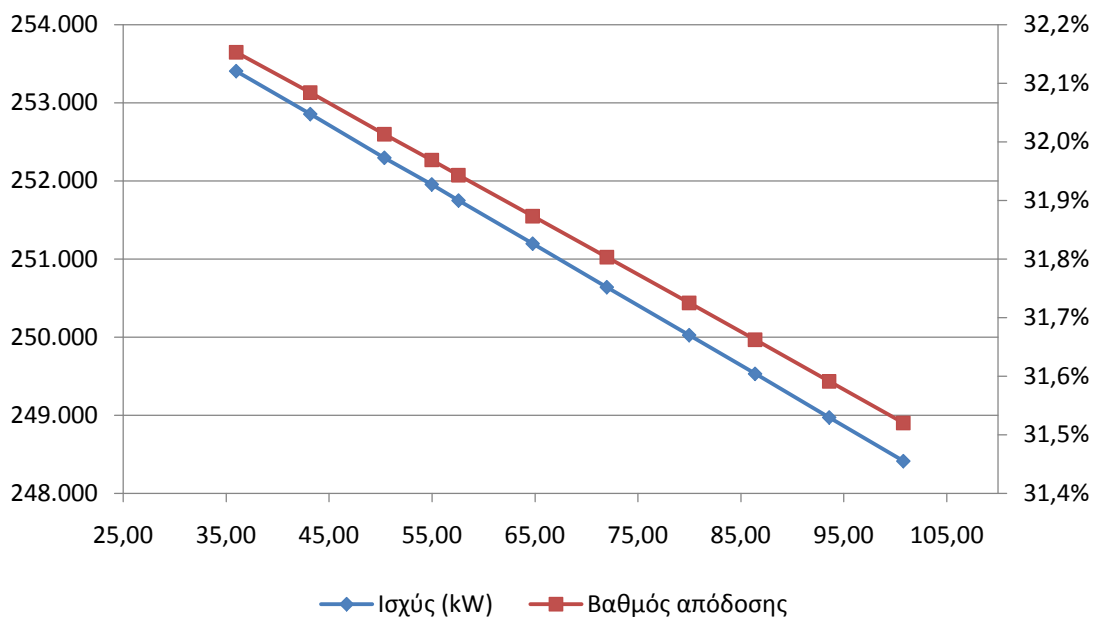
➤ **Παρασιτικός αέρας**

Παροχή Παρασιτικού (kg/s)	Παροχή LUVO (kg/s)	Ποσοστό παρασιτικού	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
160	253,19	38,72%	248.335	31,510%
155	259,44	37,40%	248.939	31,587%
150	265,69	36,08%	249.545	31,664%
146	270,69	35,04%	250.024	31,725%
140	278,19	33,48%	250.747	31,816%
135	284,44	32,19%	251.353	31,893%
130	290,69	30,90%	251.954	31,969%
125	296,94	29,63%	252.553	32,045%
120	303,19	28,36%	253.150	32,121%
115	309,44	27,09%	253.733	32,195%
110	315,69	25,84%	254.330	32,271%
107	324,44	24,80%	254.679	32,315%
100	328,19	23,35%	255.489	32,418%



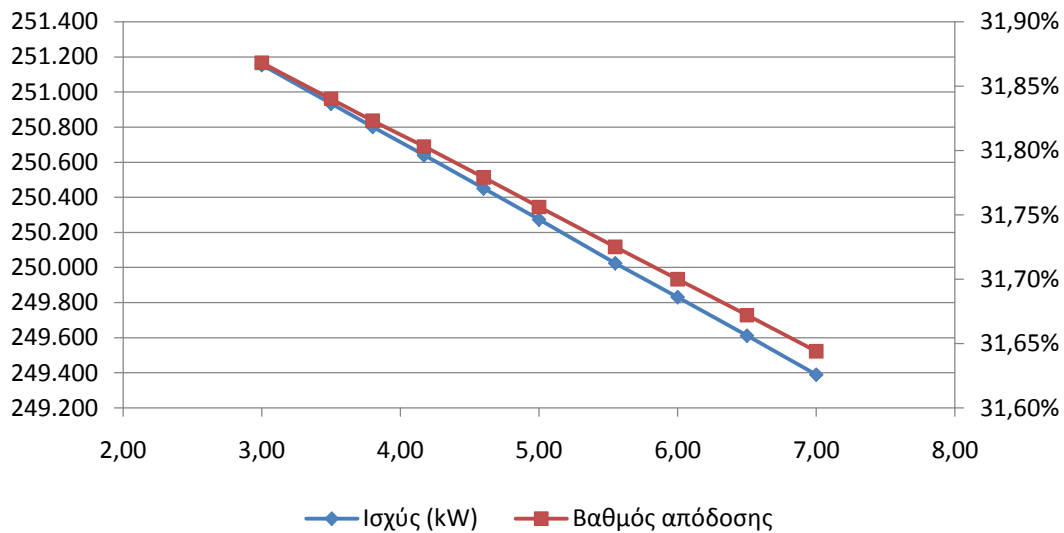
➤ Ψεκασμός Ανάθερμου ατμού

Παροχή Ψεκασμού (kg/s)	Παροχή Ψεκασμού (t/h)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
28,00	100,80	248.412	31,520%
26,00	93,60	248.971	31,591%
24,00	86,40	249.529	31,662%
22,22	80,00	250.024	31,725%
20,00	72,00	250.638	31,803%
18,00	64,80	251.195	31,873%
16,00	57,60	251.747	31,943%
15,27	55,00	251.953	31,969%
14,00	50,40	252.294	32,013%
12,00	43,20	252.853	32,084%
10,00	36,00	253.403	32,153%



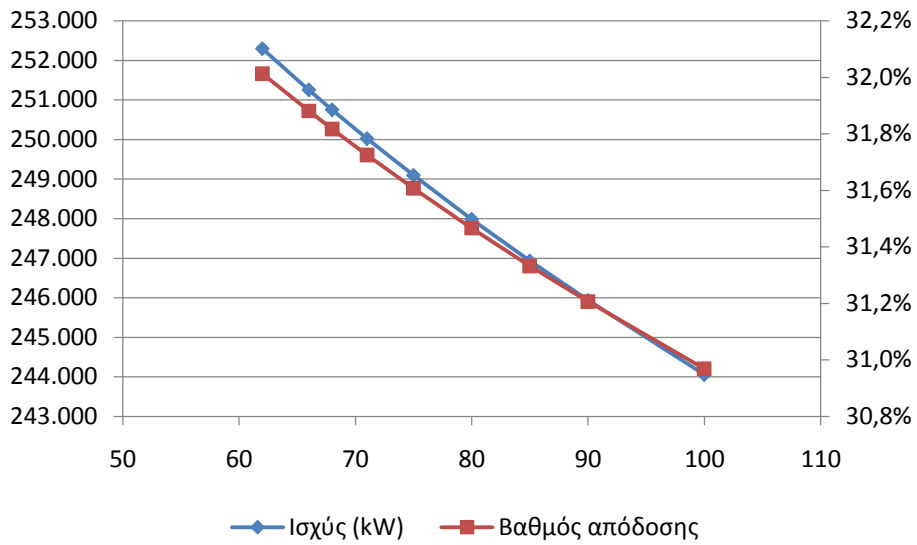
➤ Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού – Διαρροές

Παροχή (kg/s)	Παροχή (t/h)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
7,00	25,20	249.389	31,644%
6,50	23,40	249.611	31,672%
6,00	21,60	249.831	31,700%
5,55	19,98	250.024	31,725%
5,00	18,00	250.273	31,756%
4,60	16,56	250.450	31,779%
4,17	15,01	250.639	31,803%
3,80	13,68	250.801	31,823%
3,50	12,60	250.933	31,840%
3,00	10,80	251.154	31,868%



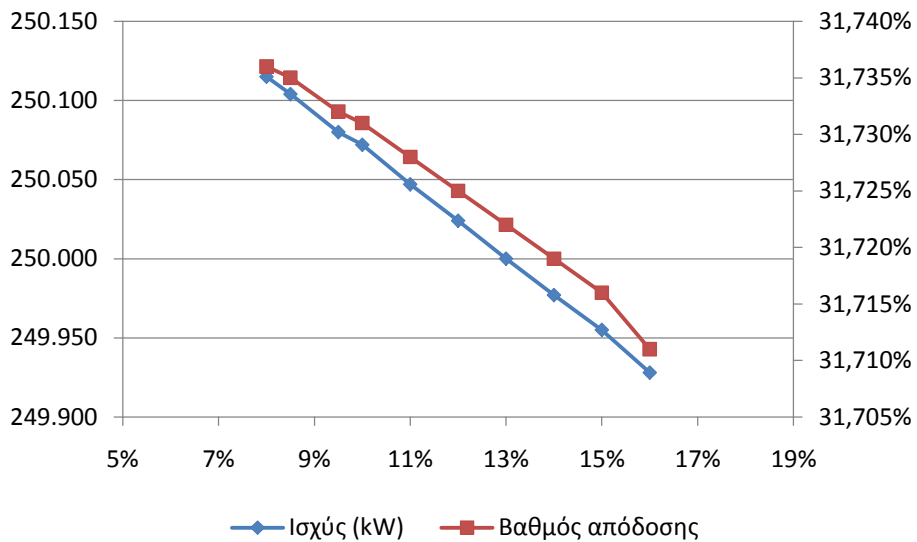
➤ Κενό ψυγείου

Κενό Ψυγείου (mbar)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
100	244.059	30,968%
90	245.935	31,206%
85	246.932	31,332%
80	247.986	31,466%
75	249.096	31,607%
71	250.024	31,725%
68	250.753	31,817%
66	251.255	31,881%
62	252.296	32,013%



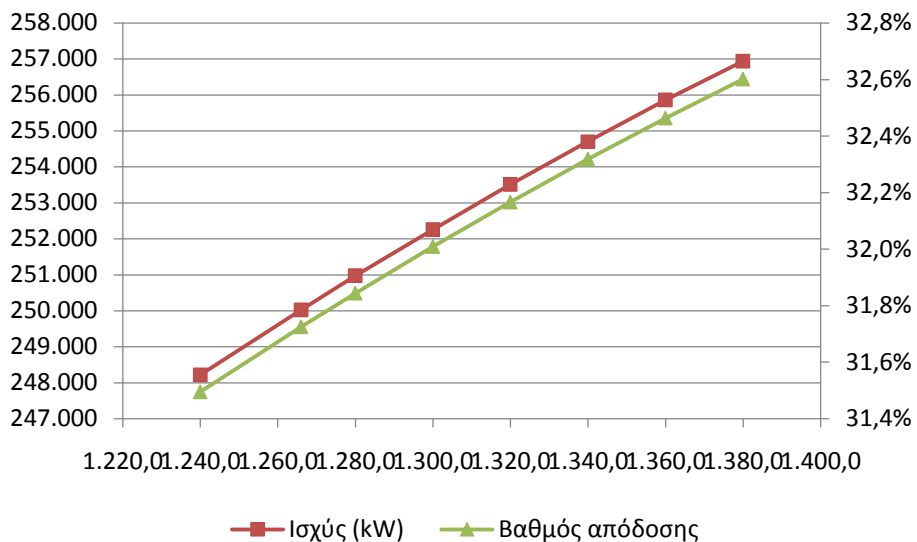
➤ Διαρροή LUVO – ΔO₂

Παροχή αέρα προ LUVO (kg/s)	Παροχή διαρροής (kg/s)	Ποσοστό διαρροής	ΔO ₂	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
322,25	51,56	16%	1,52%	249.928	31,711%
318,46	47,77	15%	1,42%	249.955	31,716%
314,75	44,07	14%	1,32%	249.977	31,719%
311,13	40,45	13%	1,21%	250.000	31,722%
307,60	36,91	12%	1,11%	250.024	31,725%
304,14	33,46	11%	1,02%	250.047	31,728%
300,76	30,08	10%	0,92%	250.072	31,731%
299,10	28,41	9,5%	0,87%	250.080	31,732%
295,83	25,15	8,5%	0,77%	250.104	31,735%
294,23	23,54	8%	0,73%	250.115	31,736%



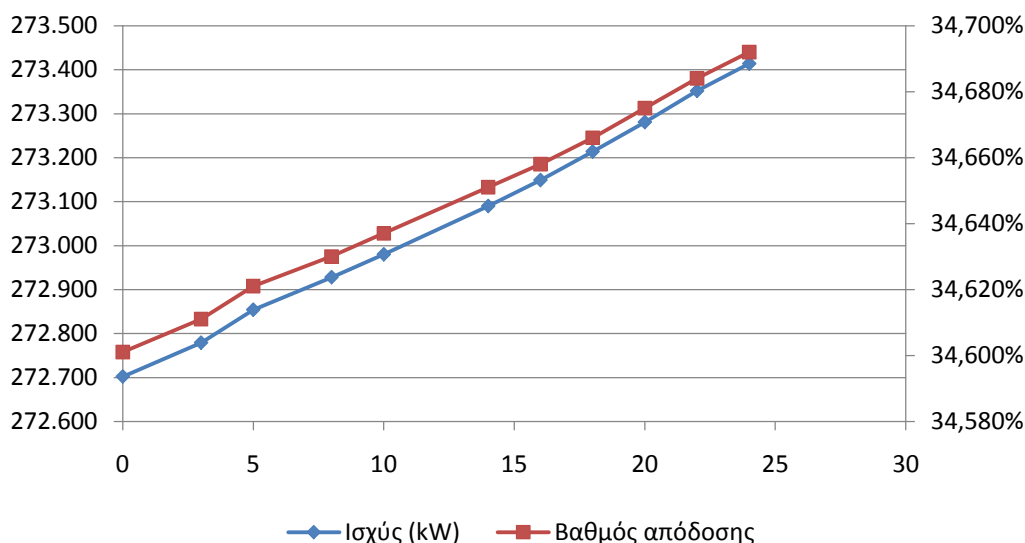
➤ Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη λιγνίτη

Θερμογόνος Δύναμη (kcal/kg)	Θερμογόνος Δύναμη (kJ/kg)	Παροχή Καυσίμου (kg/s)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
1.380,0	5.777,78	136,40	256.936	32,601%
1.360,0	5.694,05	138,41	255.856	32,463%
1.340,0	5.610,31	140,47	254.699	32,318%
1.320,0	5.526,58	142,60	253.508	32,166%
1.300,0	5.442,84	144,79	252.259	32,009%
1.280,0	5.359,10	147,06	250.973	31,844%
1.266,0	5.300,49	148,68	250.024	31,725%
1.240,0	5.191,63	151,80	248.217	31,495%



➤ Τελευταίος προθερμαντής υψηλής πίεσης

Παροχή απομάστευσης (kg/s)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
24	273.414	34,692%
22	273.352	34,684%
20	273.281	34,675%
18	273.214	34,666%
16	273.149	34,658%
14	273.090	34,651%
10	272.980	34,637%
8	272.928	34,630%
5	272.854	34,621%
3	272.779	34,611%
0	272.702	34,601%



5.1.6. Οικονομική ανάλυση επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Όπως αναλύθηκε στα παραπάνω κεφάλαια, η Δ.Ε.Η. σκοπεύει να υλοποιήσει κάποιες δράσεις με σκοπό τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης και της ενεργειακής παραγωγής της Καρδιάς III. Η υλοποίηση των δράσεων αυτών γίνεται μέσω της εγκατάστασης νέου εξοπλισμού ή συντήρησης του ήδη υπάρχοντος. Στον ακόλουθο πίνακα 5.1.11 περιγράφονται οι απαραίτητες επενδύσεις για την υλοποίηση των βελτιωτικών δράσεων.

Δράσεις	Περιγραφή επένδυσης	Ποσό επένδυσης
Μείωση παρασιτικού αέρα	Επισκευή/Αντικατάσταση πτερυγίων στεγανοποίησης τεφρολεκάνης. Διερεύνηση βελτιωμένου τύπου ποδιών	30.000 €
	Επισκευή damper καυσίμου	15.000 €
	Έλεγχος και επισκευή συρταριών απομόνωσης αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων	30.000 €
	Έλεγχος και επισκευή συρταριών απομόνωσης τροφοδοτών κατά την τρέχουσα συντήρηση	10.000 €
	Έλεγχος και επισκευή των σημείων σύνδεσης των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων μύλων με το λέβητα	30.000 €
	Έλεγχος διαστολικών καπναγωγών πριν τα LUVO	10.000 €
	Στεγανοποίηση εκκαπνιστών	10.000 €
	Ευθυγράμμιση μύλων	40.000 €
	Αντικατάσταση υλικών στεγανότητας των θυρίδων και των τελάρων των καυστήρων	10.000 €
	Αλλαγή υλικών στεγανοποίησης των σημείων σύνδεσης των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων των μύλων με το λέβητα	40.000 €

	Αλλαγή υλικών στεγανοποίησης & επιδιόρθωσης σημείων σύνδεσης των αγωγών αναρρόφησης των μύλων	25.000 €
	Εγκατάσταση συστήματος στεγανοποίησης τεφρολεκάνης	300.000 €
	Αντικατάσταση damper ψυχρού αέρα	320.000 €
Βελτίωση εσωτερικού καθαρισμού λεβήτων και διατήρηση εσωτερικής καθαρότητας	Μελέτη διερεύνησης εγκατάστασης συστήματος καθαρισμού για το υδροτοίχωμα	600.000 €
	Εγκατάσταση συστήματος εκκαπνισμού	600.000 €
Μείωση διαφυγών ατμού - νερού		
Κύκλωμα ψυκτικού - συμπύκνωση		
Στεγανοποίηση LUVO	Τοποθέτηση αξιόπιστων μετρητών για την καταγραφή O2 προ και μετά LUVO	150.000 €
	Μελέτη προμήθειας & εγκατάστασης συστήματος στεγανοποίησης LUVO	600.000 €
Ποιότητα λιγνίτη	Εγκατάσταση on line μετρητών θερμογόνου δύναμης	300.000 €
	Εγκατάσταση ταινιοζυγών μέτρησης καταναλισκόμενου λιγνίτη με απόκλιση <2,5%	20.000 €
On line βαθμός απόδοσης	Μελέτη & εγκατάσταση συστήματος μέτρησης on line B.A.	300.000 €
ΣΥΝΟΛΟ:		3.440.000 €

Πίνακας 5.1.11. Περιγραφή επενδύσεων για την υλοποίηση βελτιωτικών δράσεων

Σύμφωνα με τη παράγραφο 5.1.4 η Καρδιά III παρέχει στο δίκτυο στην υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας 250.024 kW ηλεκτρικής ισχύος. Ύστερα από την εφαρμογή του συνόλου των περιγραφόμενων στον πίνακα 5.1.8 δράσεων, η παροχή ηλεκτρικής ισχύος της μονάδας στο δίκτυο θα αυξηθεί στα 262.376 kW, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1.10. Συνεπώς το όφελος της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος για τη Δ.Ε.Η. είναι 12.352 kW. Το κόστος για την υλοποίηση των δράσεων αναλύεται στον πίνακα 5.1.11. Με βάση τα ανωτέρω, υπολογίζεται ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης όλων των δράσεων, ο οποίος παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1.12.

Όφελος παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (kW)	12.352
Ώρες λειτουργίας μονάδας ετησίως (hr)	7.500
Επιπρόσθετη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως (kWh)	92.640.000
Τιμή πώλησης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,10
Κέρδος από βελτιωτικές επενδύσεις (€)	9.264.000 €
Κόστος βελτιωτικών επενδύσεων (€)	3.440.000 €
Χρόνος αποπληρωμής (μήνες)	4,46

Πίνακας 5.1.12. Χρόνος αποπληρωμής επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1.12, θεωρώντας ως μέση τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας $0,10 \text{ €/kWh}$ και 7.500 ώρες λειτουργίας ετησίως, οι

επενδύσεις βελτίωσης της λειτουργίας του σταθμού αποπληρώνονται στον 5^ο μήνα από την εφαρμογή τους.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αποπληρωμή της κάθε δράσης ξεχωριστά, εφόσον εφαρμοστούν ανεξάρτητα μεταξύ τους, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1.9. Οι τιμές των ετήσιων ωρών λειτουργίας της μονάδας και της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η., θεωρούνται ίδιες με παραπάνω. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.1.13.

Δράσεις	Κόστος Δράσεων	Όφελος ηλεκτρικής ισχύος (kW)	Όφελος ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Χρηματικό όφελος δράσεων	Χρόνος αποπληρωμής (μήνες)
Μείωση παρασιτικού αέρα	870.000 €	4.652	34.890.000	3.489.000 €	2,99
Βελτίωση εσωτερικού καθαρισμού λεβήτων και διατήρηση εσωτερικής καθαρότητας	1.200.000 €	1.924	14.430.000	1.443.000 €	9,98
Μείωση διαφυγών ατμού - νερού		615	4.612.500	461.250 €	
Κύκλωμα ψυκτικού - συμπύκνωση		1.231	9.232.500	923.250 €	
Στεγανοποίηση LUVO	750.000 €	56	420.000	42.000 €	214,29
Ποιότητα λιγνίτη	320.000 €	3.479	26.092.500	2.609.250 €	1,47
On line βαθμός απόδοσης	300.000 €				

Πίνακας 5.1.13. Χρόνος αποπληρωμής εκάστοτε επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Παρατηρείται πως οι δράσεις με υψηλότερο ενεργειακό όφελος, αποπληρώνονται σε μικρότερο χρονικό διάστημα, όπως ήταν αναμενόμενο. Οι δράσεις αυτές είναι η μείωση του παρασιτικού αέρα και η βελτίωση της ποιότητας του λιγνίτη. Όσον αφορά τη στεγανοποίηση του LUVO, φαίνεται πως είναι αρκετά μεγάλη επένδυση για το ενεργειακό όφελος που προσφέρει. Τέλος, για τις δράσεις που δεν δίνεται κόστος, φαίνεται πως το οικονομικό κέρδος από αυτές είναι αρκετά σημαντικό (μείωση διαφυγών ατμού & πίεση λειτουργίας συμπυκνωτή), ενώ η εγκατάσταση on line συστήματος παρακολούθησης της μονάδας κρίνεται απαραίτητη για τον εκσυγχρονισμό και την καλύτερη παρακολούθηση της λειτουργίας αυτής.

5.2 Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης

5.2.1. Γενική Περιγραφή Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης βρίσκεται στο κέντρο της Πελοποννήσου και οι πλησιέστερες προς αυτή πόλεις είναι η Τρίπολη και το μεγάλο εμπορικό λιμάνι της Καλαμάτας, σε οδικές αποστάσεις 34km και 56km αντίστοιχα. [29]

Οι έρευνες της Δ.Ε.Η. για την εκτίμηση των αποθεμάτων λιγνίτη στην περιοχή χρονολογούνται από το 1966, εκτιμώντας τα απολήψιμα αποθέματα λιγνίτη σε 500.000.000 τόνους, ποσότητα ικανή να τροφοδοτήσει μέχρι το έτος 2028 τις αρχικά εγκατεστημένες τρεις μονάδες συνολικής ισχύος 550MW, καθώς και την τέταρτη μονάδα ισχύος 300MW, η οποία κατασκευάστηκε μεταγενέστερα. [29]

ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ



ΔΗΜΟΣΙΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Εικόνα 5.2.1. Άποψη Α.Η.Σ. Καρδιάς, [29]

Ο Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης συγκεντρώνει παγκόσμιο ενδιαφέρον κυρίως λόγω της πρωτοποριακής τεχνολογίας καύσης φτωχών λιγνιτών με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα. [29]

Ο Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης έχει τέσσερις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 125MW, 125MW, 300MW και 300 MW αντίστοιχα και απασχολεί συνολικά περί τους 800 εργαζόμενους όλων των ειδικοτήτων. [29]

5.2.2. Ανάλυση Εξοπλισμού Μεγαλόπολης III – Συνθήκες Σχεδιασμού

Ο λιγνίτης αποθηκεύεται σε δύο αυλές συνολικής χωρητικότητας 400.000 τόνων περίπου, απ' όπου τροφοδοτούνται οι μονάδες. Ο λιγνίτης στην πορεία του προς το σταθμό θραύεται στο κτίριο των σπαστήρων μέχρι μέγιστης διαμέτρου κόκκου 3cm και στη συνέχεια οδηγείται μέσω ταινιόδρομων στα σιλό αποθήκευσης (ένα σιλό για κάθε μύλο), απ' όπου τροφοδοτούνται οι μύλοι. [29]



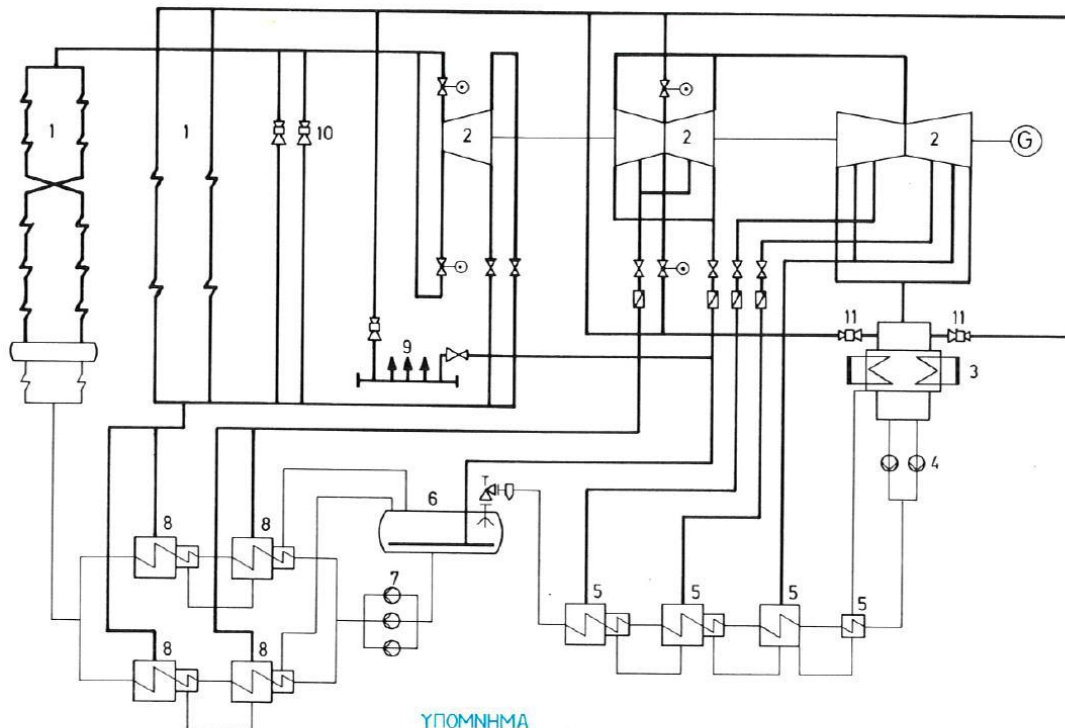
Εικόνα 5.2.2. Άποψη ορυχείου Μεγαλόπολης

Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα III του Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης τροφοδοτείται με την ακόλουθη σύσταση καυσίμου, σύμφωνα με μετρήσεις της Δ.Ε.Η. τον Οκτώβριο του 2006:

Ανάλυση καυσίμου		Στοιχειακή Ανάλυση Λιγνίτη	
Υγρασία (H ₂ O)	56,82%	Υγρασία (H ₂ O)	56,82%
Τέφρα	17,15%	Τέφρα	17,15%
Πτητικά + CO ₂	14,94%	Άνθρακας	17,21%
Μόνιμος Άνθρακας	11,09%	H ₂	1,81%
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη - HHV (kcal/kg)	1.463,0	O ₂	4,66%
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη - LHV (kcal/kg)	1.037,2	N ₂	0,64%
		S	1,71%

Πίνακας 5.2.1. Σύσταση λιγνίτη μονάδας III, [Δ.Ε.Η.]

Η μονάδα III του Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης (που στη συνέχεια θα αναφέρεται ως Μεγαλόπολη III), τέθηκε σε λειτουργία το 1975 και είναι εγκατεστημένης ισχύος 300 MW. [29] Στην εικόνα 5.2.3 φαίνεται το μονογραμμικό διάγραμμα του σταθμού.



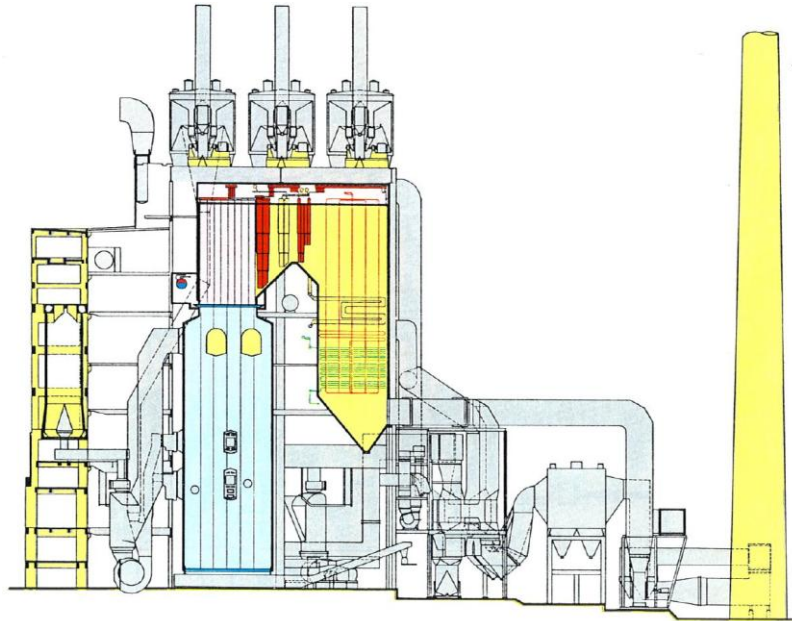
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1. ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑΣ
2. ΣΤΡΟΒΙΛΟΓΕΝΗΤΡΙΑ
3. ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ
4. ΚΥΡΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ
5. ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΕΣ Χ.Π.
6. ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ
7. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΛΕΒΗΤΑ
8. ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΕΣ Υ.Π.
9. ΔΙΑΝΟΜΕΑΣ ΑΤΜΟΥ Μ.Π.
10. BY-PASS Υ.Π.

Εικόνα 5.2.3. Μονογραμμικό διάγραμμα Μεγαλόπολης III, [29]

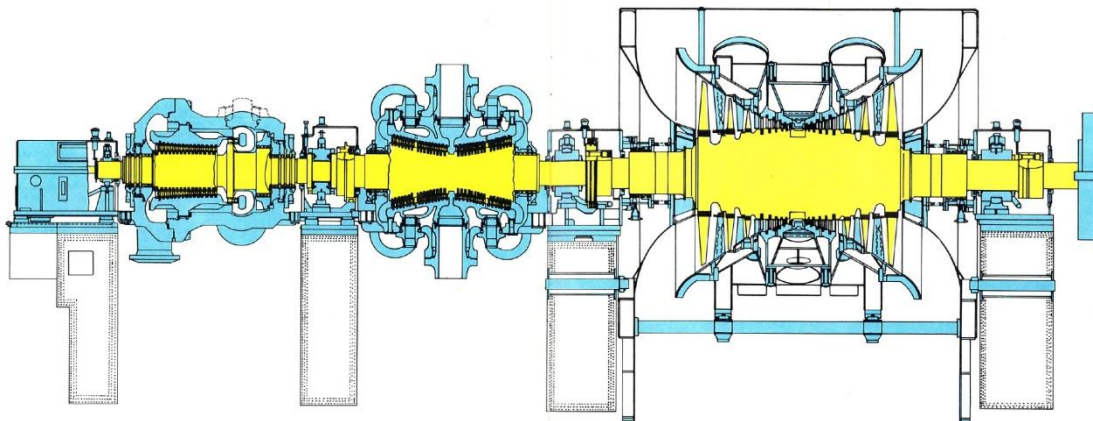
Ο λέβητας της μονάδας είναι κατασκευής VKW, φυσικής κυκλοφορίας, διπλής διαδρομής καυσαερίων, με αναθέρμανση του ατμού που εξέρχεται από τον στρόβιλο της υψηλής πίεσης. [29] Επιπλέον γίνεται ψεκασμός του ανάθερμου ατμού, με σκοπό την τελική ρύθμιση της θερμοκρασίας του πριν τον ατμοστρόβιλο μέσης πίεσης.

Η μονάδα έχει έξι μύλους λιγνίτη τύπου DGS BABCOCK δυναμικότητας 180 t/h . Για την επίτευξη πλήρους φορτίου με τις συμβατικές τιμές λιγνίτη απαιτείται η λειτουργία πέντε μύλων, ενώ ο έκτος είναι εφεδρικός. Η κονιοποίηση και ξήρανση του λιγνίτη γίνεται με θερμά καυσαέρια που αναρροφά ο κάθε μύλος από το άνω μέρος της εστίας του λέβητα. Για την εκκίνηση, κράτηση ή για τη στήριξη της καύσης, όταν ο λιγνίτης είναι χαμηλής θερμογόνου δύναμης, ο λέβητας είναι εφοδιασμένος με έξι καυστήρες πετρελαίου DIESEL. [29] Η μορφή του λέβητα της Μεγαλόπολης III φαίνεται στην εικόνα 5.2.4.



Εικόνα 5.2.4. Τομή λεβητοστασίου Μεγαλόπολης III, [29]

Ο ατμοστρόβιλος της Μεγαλόπολης III είναι κατασκευής ΚWU, αποτελείται από τρία τμήματα (υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης) και στρέφεται με ταχύτητα 3.000 RPM. Το τμήμα της υψηλής πίεσης χωρίς οριζόντια φλάντζα στο κέλυφος είναι απλής ροής και τροφοδοτεί ένα διπλό προθερμαντή υψηλής πίεσης. Το τμήμα της μέσης πίεσης είναι διπλής ροής και τροφοδοτεί με δύο απομαστεύσεις ένα προθερμαντή υψηλής πίεσης και τον απαερωτή. Τέλος, το τμήμα της χαμηλής πίεσης του ατμοστρόβιλου είναι και αυτό διπλής ροής με τρεις απομαστεύσεις που τροφοδοτούν ισάριθμους προθερμαντές χαμηλής πίεσης. [29] Ο ατμοστρόβιλος της Μεγαλόπολης III φαίνεται στην εικόνα 5.2.5.



Εικόνα 5.2.5. Διαμήκης τομή ατμοστρόβιλου Μεγαλόπολης III, [29]

Η γεννήτρια είναι και αυτή κατασκευής ΚWU, ονομαστικής ισχύος 353 MVA, ενώ η ψύξη των τυλιγμάτων του στάτη και του δρομέα γίνονται μέσω υδρογόνου. Τέλος, ο κύριος μετασχηματιστής της Μεγαλόπολης III είναι κατασκευής CGEE ALSTHOM, ισχύος 360 MVA. [29]

5.2.3 Μοντελοποίηση Μεγαλόπολης III σε συνθήκες σχεδιασμού

Η μοντελοποίηση της Μεγαλόπολης III σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του προγράμματος Gate Cycle, έγινε σύμφωνα με το διάγραμμα θερμικού ισοζυγίου (Heat Balance Diagram) της μονάδας, σε συνθήκες σχεδιασμού. Όσον αφορά τα στοιχεία της πορείας του καυσαερίου συμπληρώθηκαν βάσει τυπικών τιμών και ενίοτε βάσει δεδομένων της μονάδας Μεγαλόπολης IV, για την οποία διατίθενται περισσότερα στοιχεία. Η μοντελοποίηση στο Gate Cycle φαίνεται στην εικόνα 5.2.6.

Στη συνέχεια, στον πίνακα 5.2.2, παρουσιάζεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός της Μεγαλόπολης III, όπως αυτή μοντελοποιήθηκε στο Gate Cycle.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΟΛΙΑ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Λέβητας	FB1	Περιλαμβάνει την εστία, τον ατμοποιητή, και τον τελευταίο υπερθερμαντή και αναθερμαντή, πριν την έξοδο του ατμού από τον λέβητα
Ατμοστρόβιλος	ST1, ST3, ST4	Υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης αντίστοιχα
Υπερθερμαντές	SPHT1	Υπολοιπόμενοι υπερθερμαντές
Αναθερμαντές	SPHT2	Υπολοιπόμενοι αναθερμαντές
Ψεκασμός	TMX1	Ψεκασμός για τελική ρύθμιση θερμοκρασίας εξόδου από τον αναθερμαντή
Τύμπανο	DRUM1	Για τον διαχωρισμό νερού από τον ατμό στον λέβητα
Οικονομητήρας	ECON1	
LUVO	HX1	
Ανεμιστήρες	C1, C2	Ανεμιστήρας για την εισαγωγή αέρα και ανεμιστήρας για την εξαγωγή των καυσαερίων, αντίστοιχα
Προθερμαντές νερού Χαμηλής Πίεσης (ΧΠ)	FWH5, FWH4, FWH3	Το συμπύκνωμα των προθερμαντών ΧΠ οδηγείται προς τα πίσω και καταλήγει στον συμπυκνωτή
Απαερωτής	DA1	
Προθερμαντές νερού Υψηλής Πίεσης (ΥΠ)	FWH2, FWH1	Το συμπύκνωμα των προθερμαντών ΥΠ οδηγείται προς τα πίσω και καταλήγει στον απαερωτή
Τροφοδοσία νερού	MU1	Καλύπτει τις όποιες απώλειες νερού προς το περιβάλλον (διαρροές) – make up
Συμπυκνωτής (Ψυγείο)	CND1	
Αντλίες	PUMP1	Αντλία συμπυκνώματος
	PUMP2	Αντλία τροφοδοσίας
	PUMP3	Αντλία ψυκτικού νερού
Βαλβίδες	V1, V2	Για τη ρύθμιση της πίεσης πριν τον ατμοστρόβιλο ΥΠ και τον ΜΠ αντίστοιχα

Διακλαδώσεις	SP1	Το ρεύμα εξόδου από τον ατμοστρόβιλο ΥΠ, χωρίζεται σε αυτό που οδηγείται προς αναθέρμανση και σε μια απομάστευση προς τον τελευταίο προθερμαντή ΥΠ
	SP2	Ένα μέρος μετά την αντλία τροφοδοσίας οδηγείται για ψεκασμό του ανάθερμου ατμού, με σκοπό τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του, το υπόλοιπο ρεύμα νερού συνεχίζει για προθέρμανση στους προθερμαντές ΥΠ
	SP4	Το ρεύμα ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο ΜΠ χωρίζεται σε 3 ρεύματα, ένα για τον ατμοστρόβιλο ΧΠ, ένα για τον απαερωτή και ένα για το περιβάλλον, που υποδηλώνει τις διαρροές
	SP5	Το θερμό ρεύμα αέρα μετά τον LUVO, χωρίζεται σε αυτό που οδηγείται στην εστία προς καύση και σε αυτό που οδηγείται στα καυσαέρια, υποδηλώνοντας τη διαρροή στον LUVO (από το SP5 ρυθμίζεται αυτή η διαρροή)
Μίκτης	M2	Ανάμιξη ρεύματος νερού από ECO με ρεύμα συμπυκνωμάτων (νερού) από διαχωριστή

Πίνακας 5.2.2. Μοντελοποιημένος εξοπλισμός στο Gate Cycle

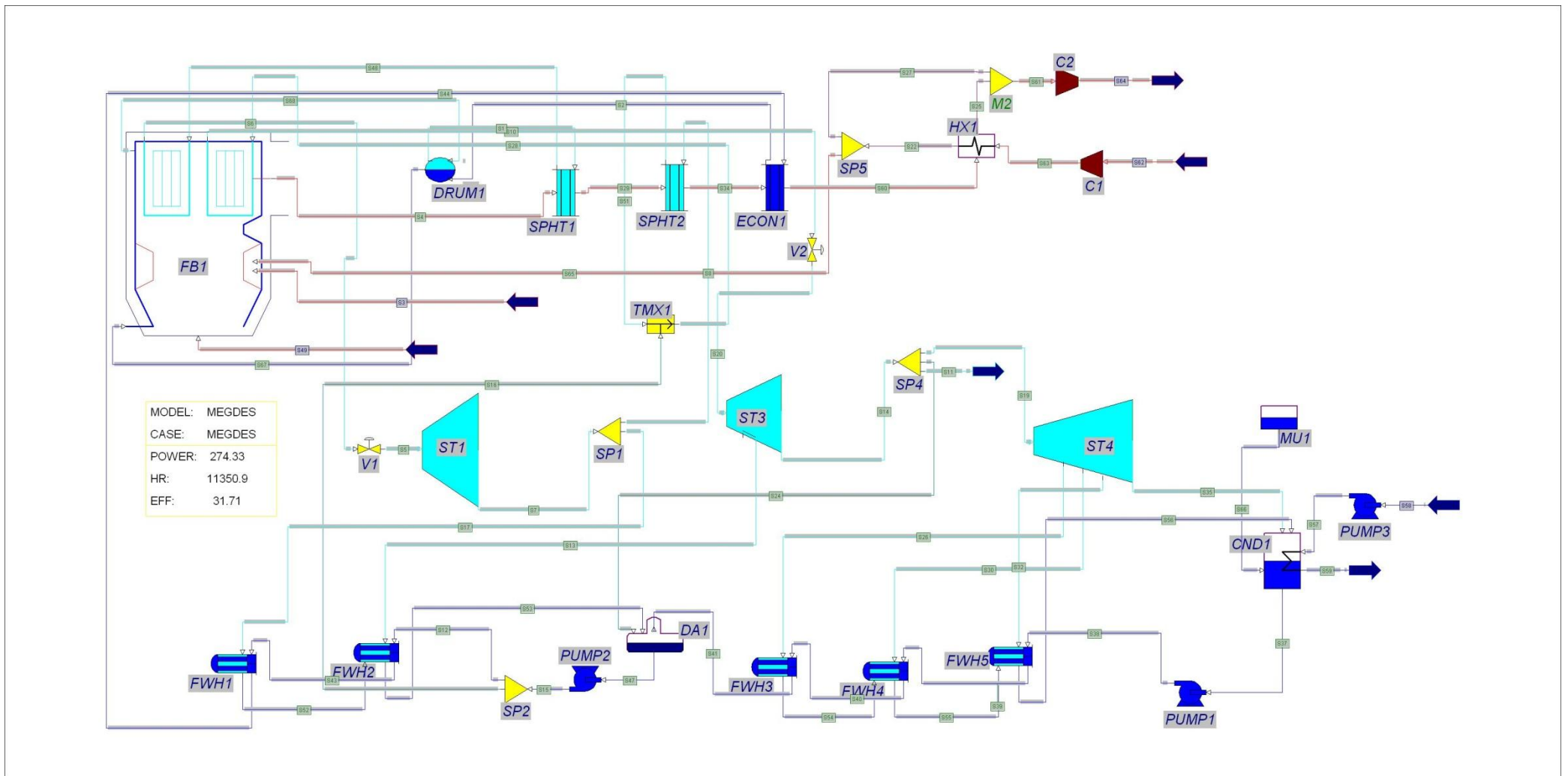
Κατά τη μοντελοποίηση διαφοροποιήθηκαν αρκετά κάποια μεγέθη, ώστε το μοντέλο να συγκλίνει στην τελική του μορφή. Κατά τη διαδικασία αυτή έπρεπε να παραμένουν σταθερά τα ακόλουθα μεγέθη, ώστε η μοντελοποίηση να είναι αντιπροσωπευτική της Μεγαλόπολης III:

- i. Παραγόμενη μικτή ισχύς 300 MW
- ii. Ατμοπαραγωγή υπέρθερμου ατμού $897,8 \text{ t/h} \approx 249,4 \text{ kg/s}$
- iii. Θερμοκρασία εισόδου τροφοδοτικού νερού στον λέβητα (σημείο πριν τον ECO) περίπου $247,3^\circ\text{C}$

Εστία

Καθώς για τη Μεγαλόπολη III είναι διαθέσιμο μόνο το διάγραμμα θερμικού ισοζυγίου, τα στοιχεία για την εστία και την πορεία του καυσαερίου δεν ήταν αρκετά, για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τυπικές τιμές. Αναλυτικότερα:

- Επιλογή στερεού καυσίμου, βάζοντας την τιμή 1 στην επιλογή *Solid*
- Η ρύθμιση των ιδιοτήτων του καυσίμου έγινε από το μενού *Settings*:
 1. Σύμφωνα με τη σύσταση του λιγνίτη του πίνακα 5.2.1 από μετρήσεις της Δ.Ε.Η. και μέσω της φόρμουλας υπολογισμού θερμογόνου δύναμης *DuLong*, την οποία διαθέτει το πρόγραμμα Gate Cycle, υπολογίστηκε η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη με τιμή $1.037,2 \text{ kcal/kg} \approx 4.342,5 \text{ kJ/kg}$.



Εικόνα 5.2.6. Μοντελοποίηση Μεγαλόπολης III στο Gate Cycle

2. Χρησιμοποιείται τυπική τιμή για την κατανάλωση ενέργειας από τους σπαστήρες λιγνίτη στο μενού *Pulverized Specific Power Consumption* η οποία είναι $0,02 \text{ kWh/kg}$.
- Στο μενού *Combustion* εισάγεται η τυπική τιμή περίσσειας αέρα 25%
 - Στο μενού *Design* γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για τα ρεύματα εξόδου του ατμού από τον λέβητα:
 1. Από το μενού *Water Walls Design Method* επιλέγεται η ξηρότητα του παραγόμενου ατμού (*Exit Quality*) στην οποία δίνεται η τυπική τιμή 95%
 2. Για την έξοδο του υπέρθερμου ατμού από το μενού *Superheater Design Method* επιλέγεται να δίνεται η θερμοκρασία εξόδου αυτού (*Exit Temperature*), η οποία έχει την τιμή 540°C
 3. Για την έξοδο του ανάθερμου ατμού από το μενού *Reheater Design Method* επιλέγεται να δίνεται η θερμοκρασία εξόδου αυτού (*Exit Temperature*), η οποία έχει την τιμή 540°C
 - Τέλος ρυθμίζεται η πτώση πίεσης των ρευμάτων ατμού μέσα στην εστία, από το μενού *Pressure Loss*:
 1. Στο διάγραμμα θερμικού ισοζυγίου του σταθμού φαίνεται η συνολική πτώση πίεσης που δημιουργείται στην εστία κατά την υπερθέρμανση και έχει τιμή 29 bar, χωρίς όμως να φαίνεται πως αυτή κατανέμεται στον αντίστοιχο εξοπλισμό (ECO, τύμπανο, ατμοποιητή και υπερθερμαντές). Για το λόγο αυτό η παραπάνω πτώση πίεσης ισομοιράζεται στον αντίστοιχο εξοπλισμό.
 2. Για τον αναθερμαντή η πτώση πίεσης έχει την τιμή των 3,5 bar, η οποία εισάγεται στον αναθερμαντή της εστίας

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αλλά και τις ρυθμίσεις του υπόλοιπου εξοπλισμού, του οποίου η περιγραφή ακολουθεί, προέκυψε η κατανάλωση καυσίμου με στόχο την απαιτούμενη ατμοπαραγωγή και ισχύ. Η κατανάλωση λιγνίτη έχει την τιμή $199,2 \text{ kg/s} \approx 717 \text{ t/h}$.

Καυσαέρια – Αέρας καύσης

Η πορεία του καυσαερίου, όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι γνωστή από το διάγραμμα του σταθμού, συνεπώς τα στοιχεία αυτά εισήχθησαν από παρεμφερείς μονάδες. Πριν τον ECO τοποθετούνται δύο ομάδες υπερθερμαντών και δύο αναθερμαντών, των οποίων τα στοιχεία καυσαερίου προσεγγίστηκαν με στόχο τη σύγκλιση του προγράμματος, καθώς δεν επηρεάζει στη μοντελοποίηση η ακριβής γνώση αυτών των δεδομένων. Στη συνέχεια, θεωρήθηκε πως η θερμοκρασία των καυσαερίων πριν τον ECO είναι 440°C και τα καυσαέρια εξάγονται από τον ECO με

θερμοκρασία 342°C, ενώ η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα είναι 160°C, όπως συμβαίνει στη Μεγαλόπολη IV.

Αντίστοιχα, τα στοιχεία είναι ελλιπή και για τον αέρα καύσης, για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τυπικές τιμές. Η ποσότητα του αέρα καύσης ρυθμίστηκε από το πρόγραμμα με σκοπό την καύση της ποσότητας του καυσίμου με την προαναφερόμενη περίσσεια αέρα του 25%. Συνεπώς η τιμή του αέρα καύσης η οποία δίνεται από το Gate Cycle είναι $594,2 \text{ kg/s} \approx 2.139,2 \text{ t/h}$. Από την προαναφερόμενη ποσότητα του αέρα καύσης, ο παρασιτικός αέρας θεωρήθηκε στο ~15% του συνόλου, συνεπώς μία απόλυτη τιμή των 90 kg/s . Ο παρασιτικός αέρας εισάγεται στο ρεύμα *Air/Gas/Fuel Source* της εστίας, στο μενού *Flowrate*, αφού πρώτα γίνει η επιλογή *Air*.

Τέλος, η διαρροή του LUVO θεωρήθηκε στο 9% από το ψυχρό στο θερμό ρεύμα, με αποτέλεσμα μία αύξηση της τιμής του οξυγόνου (O₂) στα καυσαέρια της τάξης ΔO₂ = 1,05%, καθώς η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο μετά την εστία είναι 2,57%, ενώ στην καπνοδόχο 3,62%. Όπως και στους υπόλοιπους σταθμούς, η διαρροή στον LUVO μοντελοποιείται μέσω ενός διαχωριστή μετά τον LUVO (σε αυτή την περίπτωση ο SP5), ο οποίος επιστρέφει ένα μέρος του ψυχρού ρεύματος στα θερμά καυσαέρια μέσω ενός μίκτη (σε αυτή την περίπτωση M2).

Ατμοστρόβιλος

Η Μεγαλόπολη III είναι εφοδιασμένη με ατμοστρόβιλο τριών βαθμίδων πίεσης, υψηλής πίεσης μετά την έξοδο της οποίας ο ατμός αναθερμαίνεται και οδηγείται στις βαθμίδες μέσης και εν συνεχεία χαμηλής πίεσης, οι οποίες είναι αντιρροής όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.2.5. Τα στοιχεία λειτουργίας των ατμοστρόβιλων σε συνθήκες σχεδιασμού, φαίνονται στον πίνακα 5.2.3.

	<u>Ατμοστρόβιλος Υψηλής Πίεσης</u>	<u>Ατμοστρόβιλος Μέσης Πίεσης</u>	<u>Ατμοστρόβιλος Χαμηλής Πίεσης</u>
Πίεση εισόδου (bar)	145,9	36,07	8,61
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	539,55	539,5	339,19
Παροχή εισόδου (kg/s)	249,36	230,18	204,36
Πίεση εξόδου (bar)	40,73	8,61	0,071
Παροχή εξόδου (kg/s)	249,36	217,63	170,96
Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης (%)	80%	90%	90%
Παραγόμενη Μηχανική Ισχύς (kW)	73.977	89.466	142.556

Πίνακας 5.2.3. Χαρακτηριστικά ατμοστρόβιλων Μεγαλόπολης III

Τα ακριβή δεδομένα εισόδου και εξόδου των στροβίλων προκύπτουν από το διάγραμμα θερμικού ισολογισμού της μονάδας. Οι παροχές εξόδου των ατμοστροβίλων μειώνονται λόγω των απομαστεύσεων για τους προθερμαντές τροφοδοτικού νερού. Οι τιμές των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης αποτελούν τυπικά μεγέθη και εισάγονται από το μενού *Design Point Efficiency method* επιλέγοντας *Isentropic Expansion Efficiency*. Τέλος, η παραγόμενη μηχανική ισχύς προκύπτει από το πρόγραμμα, στο *Report* κάθε ατμοστροβίλου και αποτελεί τη μηχανική ισχύ που μεταφέρεται στην άτρακτο των ατμοστροβίλων.

Για την τελική ρύθμιση της θερμοκρασίας του ανάθερμου ατμού γίνεται ψεκασμός τροφοδοτικού νερού στην τελευταία σειρά αναθερμαντή, πριν την έξοδο για τον ατμοστροβίλο μέσης πίεσης. Το νερό ψεκασμού αναρροφάται ακριβώς μετά την αντλία τροφοδοσίας. Ο ψεκασμός μοντελοποιείται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού (TMX1), όπου στο μενού *Temperature Control Method* επιλέγεται ο καθορισμός παροχής (*Control Flow*) και εισάγεται η τιμή $12 \text{ t/h} \approx 3,33 \text{ kg/s}$.

Τέλος θεωρείται διαρροή ατμού, η οποία μοντελοποιείται μέσω του διαχωριστή 4 (SP4) μετά την έξοδο του ατμοστροβίλου μέσης πίεσης και αντιπροσωπεύει την όποια πιθανή διαρροή νερού ή ατμού από το σύστημα. Η τιμή της διαρροής σε συνθήκες σχεδιασμού είναι $3 \text{ kg/s} \approx 10,8 \text{ t/h}$.

Τροφοδοτικό νερό – Προθερμαντές & Αντλίες

Στη Μεγαλόπολη III το τροφοδοτικό νερό προθερμαίνεται, πριν την είσοδο του στον οικονομητήρα, μέσω πέντε προθερμαντών, με απομαστεύσεις ατμού από τους ατμοστροβίλους. Σύμφωνα με το διάγραμμα θερμικού ισοζυγίου του σταθμού, αλλά και με την εικόνα 5.2.3, μετά τον συμπυκνωτή ακολουθούν τρεις προθερμαντές χαμηλής πίεσης, ο απαερωτής και δύο προθερμαντές υψηλής πίεσης, προτού το τροφοδοτικό νερό εισέλθει στον λέβητα. Σε αυτή τη διαδρομή η πίεση του νερού αυξάνεται μέσω δύο αντλιών, της αντλίας συμπυκνώματος και της τροφοδοτικής αντλίας.

Για την λειτουργία των προθερμαντών γίνονται απομαστεύσεις από τους ατμοστροβίλους με συγκεκριμένες συνθήκες ατμού, οι οποίες δίνονται μέσω του τεχνικού διαγράμματος του σταθμού. Η ρύθμιση των προθερμαντών έγινε με χρήση της Διαφοράς Θερμοκρασίας Τερματικού (*Terminal Temperature Difference/TTD*), ώστε να επιτευχθεί η θερμοκρασία εξόδου του τροφοδοτικού νερού ύστερα από κάθε προθερμαντή. Η προκύπτουσες τιμές των παροχών απομαστεύσεων απείχαν ελάχιστα από αυτές του σχεδιασμού της μονάδας. Τέλος, ο απαερωτής ρυθμίστηκε να λειτουργεί στα 7,5 bar.

Στον πίνακα 5.2.4, που ακολουθεί, φαίνονται τα στοιχεία των απομαστεύσεων για κάθε προθερμαντή, η τελική θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού αλλά και η πτώση πίεσης σε κάθε προθερμαντή αντίστοιχα.

	Θερμοκρασία Εξόδου Τροφοδοτικού Νερού από Προθερμαντή (°C)	TTD (°C)	Πίεση απομάστευσης (bar)	Παροχή απομάστευσης (kg/s)	Πτώση Πίεσης τροφοδ. νερού (mbar)
Προθερμαντής 1	59,46	5,8	0,25	6,57	6.900
Προθερμαντής 2	102,96	5	1,34	14,35	912
Προθερμαντής 3	138,49	6,5	4,15	12,48	811
Απαερωτής	167,76		8,61	10,27	
Προθερμαντής 5	203,39	5	18,85	12,55	811
Προθερμαντής 6	247,41	4	40,73	22,52	913

Πίνακας 5.2.4. Λειτουργία προθερμαντών

Από τον πίνακα 5.2.4 είναι άξιο σχολιασμού το γεγονός πως οι τιμές του TTD για τις οποίες σχεδιάστηκε η Μεγαλόπολη III είναι αρκετά υψηλές. Υπενθυμίζεται πως τυπικές τιμές του TTD κυμαίνονται μεταξύ 2 και 3°C. Επιπλέον, αρκετά υψηλή είναι και η πτώση πίεσης του τροφοδοτικού νερού στον προθερμαντή ΧΠ 1.

Οι απομαστεύσεις για τους προθερμαντές ΧΠ 1,2 και 3 γίνονται από τον ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης. Η απομάστευση για τον απαερωτή γίνεται στην έξοδο του ατμοστρόβιλου μέσης πίεσης. Η απομάστευση για τον προθερμαντή ΥΠ 5 γίνεται από τον ατμοστρόβιλο μέσης πίεσης, ενώ η απομάστευση για τον προθερμαντή ΥΠ 6 γίνεται στη έξοδο του ατμοστρόβιλου υψηλής πίεσης.

Στον πίνακα 5.2.5 δίνεται η ανάλυση των μεγεθών λειτουργίας των αντλιών του συστήματος.

	Πίεση εισόδου (bar)	Πίεση εξόδου (bar)	Διαχειριζόμενη Παροχή (kg/s)	Κατανάλωση ισχύος (kW)
Αντλία Συμπυκνώματος	0,071	18,4	207,46	426,6
Τροφοδοτική Αντλία	7,7	177,7	252,80	5.628,1
Αντλία ψυκτικού μέσου	1,013	3,0	9.067,0	2.122,9

Πίνακας 5.2.5. Λειτουργία αντλιών

Όσον αφορά στη λειτουργία των αντλιών, το τροφοδοτικό νερό διέρχεται από την αντλία συμπυκνώματος, η οποία βρίσκεται μετά τον συμπυκνωτή και ανεβάζει την πίεση του από το κενό μέχρι την κατάλληλη πίεση ώστε να εισέλθει το νερό στον απαερωτή. Έπεται η τροφοδοτική αντλία, η οποία βρίσκεται μετά τον απαερωτή και δίνει στο τροφοδοτικό νερό την επιθυμητή πίεση για την είσοδο του

στον λέβητα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.2.3 η αντλία συμπυκνώματος αποτελείται στην πραγματικότητα από δύο αντλίες, ενώ η τροφοδοτική αντλία από τρεις. Τέλος, η αντλία ψυκτικού μέσου διακινεί το ψυκτικό νερό στους αυλούς του συμπυκνωτή.

Η ρύθμιση της πίεσης εξόδου των αντλιών έγινε σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.2.5, από το μενού *Pump Exit Pressure*, ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς δίνεται από το πρόγραμμα στο *Report* κάθε αντλίας.

Τέλος, ο συμπυκνωτής (ψυγείο) λειτουργεί σε πίεση κενού των 71 mbar, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού νερού είναι 10°C και η πτώση πίεσης του είναι 1,5 bar.

Βαθμοί απόδοσης

Ο πρώτος βαθμός απόδοσης που θα υπολογιστεί είναι αυτός του λέβητα. Ο λέβητας ξεκινάει από τον οικονομητή (ECO) και τελειώνει στον τελευταίο αναθερμαντή. Η ανάλυση των ρευμάτων του λέβητα για τη Μεγαλόπολη III, φαίνεται στον πίνακα 5.2.6.

	Παροχή (kg/s)	Ενθαλπία (kJ/kg)	Ισχύς (kW)
ΕΙΣΟΔΟΙ			
Τροφοδοτικό νερό πριν τον ECO	247,41	1.074,25	265.780,19
Ατμός προς αναθέρμανση	226,85	3.128,11	709.611,75
Ψεκασμός ανάθερμου	3,33	731,57	2.436,13
ΣΥΝΟΛΟ:			977.828,07
ΕΞΟΔΟΙ			
Υπέρθερμος ατμός	249,36	3.424,76	853.998,15
Ανάθερμος ατμός	230,18	3.538,59	814.512,65
ΣΥΝΟΛΟ:			1.668.510,80
ΚΑΥΣΙΜΟ			
Λιγνίτης	199,2	4.342,50	865.026

Πίνακας 5.2.6. Ρεύματα εισόδου και εξόδου λέβητα

$$\eta_E = \frac{(\text{έξοδος} - \text{είσοδος})}{\text{καύσιμο}} = \frac{(1.668.510,80 - 977.828,07)}{865.026} = 79,85\%$$

Συνεπώς από τα 865.026 kW καυσίμου μεταφέρονται μέσω του λέβητα, με βαθμό απόδοσης 79,85%, στον ατμό του συστήματος 690.682,73 kW προς εκμετάλλευση από τον ατμοστρόβιλο. Ο ατμοστρόβιλος σύμφωνα με τον πίνακα 5.2.3 παράγει μηχανική ισχύ 305.999 kW, συνεπώς έχει ένα βαθμό απόδοσης $\eta_T = 305.999 / 690.682,73 = 44,3\%$. Από τα 305.999 kW η γεννήτρια με βαθμό απόδοσης $\eta_G = 98\%$ παράγει ηλεκτρική ισχύ $299.879 \text{ kW}_e \approx 300 \text{ MW}_e$.

Όσον αφορά τις ιδιοκαταναλώσεις, δεν υπάρχει αναφορά στο τεχνικό διάγραμμα της Μεγαλόπολης III, για το λόγο αυτό γίνεται αποδεκτή η υπολογιζόμενη από το πρόγραμμα ιδιοκατανάλωση για τον εξοπλισμό της μονάδας, προσθέτοντας επιπλέον 1 MW για κάποιες επιπλέον ανάγκες. Συνεπώς, οι ανάγκες για ίδια κατανάλωση είναι 25.553 kW_e, άρα η παρεχόμενη καθαρή ηλεκτρική ισχύς στο δίκτυο είναι 274.326 kW_e, ενώ το ποσοστό της ιδιοκαταναλώσης υπολογίζεται ως $\eta_{BOP} = 25.553 / 299.879 = 8,52\%$.

Έχοντας υπολογισμένες όλες τις απαραίτητες τιμές ισχύος και βαθμών απόδοσης του συστήματος, είναι δυνατός ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης της μονάδας. Αρχικά θα υπολογιστεί ο μικτός βαθμός απόδοσης, ο οποίος δεν περιλαμβάνει την ιδιοκαταναλώση:

$$\eta_{Gross} = \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \frac{299.879}{865.026} = 34,67\%$$

ή

$$\eta_{Gross} = \eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_G = 79,85\% \cdot 44,3\% \cdot 98\% = 34,67\%$$

Ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται ο καθαρός βαθμός απόδοσης της μονάδας, ο οποίος περιλαμβάνει την ιδιοκαταναλώση:

$$\begin{aligned} \eta_{Net} &= \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς} - \text{ισχύς ιδιοκαταναλώσεων}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \\ &= \frac{299.879 - 25.553}{865.026} = 31,71\% \end{aligned}$$

ή

$$\eta_{Net} = \eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot (1 - \eta_{BOP}) = 79,85\% \cdot 44,3\% \cdot 98\% \cdot (1 - 8,52\%) = 31,71\%$$

Ανακεφαλαιώνοντας, η Μεγαλόπολη III παράγει 300 MW_e από τα οποία παρέχει στο δίκτυο τα 274,3 MW_e, με βαθμό απόδοσης 31,71%. Τα βασικότερα από τα παραπάνω μεγέθη είναι διαθέσιμα στο Gate Cycle μέσω του *System Report* και συνάδουν με τις παραπάνω υπολογιζόμενες τιμές.

5.2.4. Μοντελοποίηση Μεγαλόπολης III στην υπάρχουσα κατάσταση

Οι ως άνω περιγραφόμενες συνθήκες αφορούν την λειτουργία της μονάδας σύμφωνα με το σχεδιασμό. Η κατάσταση λειτουργίας όμως μεταβάλλεται εξαιτίας της παλαιότητας της μονάδας. Η Δ.Ε.Η., σύμφωνα με κάποιες μετρήσεις, έχει προσδιορίσει την παρούσα κατάσταση λειτουργίας της μονάδας, μέσω του προσδιορισμού χαρακτηριστικών μεγεθών. Η μεταβολή αυτών των μεγεθών σε σύγκριση με τα μεγέθη σχεδιασμού (αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 5.2.7.

Μέγεθος	Κατάσταση σχεδιασμού	Υπάρχουσα Κατάσταση
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων	160°C	210°C
Παρασιτικός αέρας	15%	30%
Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού – διαρροές	10,8 t/h	18 t/h
Κενό Ψυγείου	71 mbar	80 mbar
ΔO ₂ LUVO	1,05%	1,4%

Πίνακας 5.2.7. Υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας Μεγαλόπολης III

Η ρύθμιση ορισμένων μεγεθών επηρεάζει τις τιμές άλλων μεγεθών, συνεπώς στόχος είναι η τελική σύγκλιση να ικανοποιεί όλες τις τιμές του παραπάνω πίνακα 5.2.7. Με σκοπό την αποτελεσματική σύγκριση των δύο μοντέλων διατηρούνται σταθερά η παροχή καυσίμου και οι επιφάνειες συναλλαγής (*Surface Area*) όλων των εναλλακτών θερμότητας (υπερθερμαντές, αναθερμαντές, ECO & LUVO). Ακολουθεί η περιγραφή της τροποποίησης των μεγεθών σε υπάρχουσες συνθήκες:

- Αλλαγή κενού στο ψυγείο, από τον αντίστοιχο εξοπλισμό (CND1) στο μενού *Method* επιλέγοντας *Desired Pressure*.
- Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (διαρροή νερού), από τον διαχωριστή SP1, όπου μοντελοποιούνται οι διαρροές εισάγεται η επιθυμητή τιμή στο μενού *Specify Flow*.
- Τέλος, ρυθμίζεται ο παρασιτικός αέρας στο 30% του συνόλου (170 kg/s παρασιτικός και 404,4kg/s αέρας από LUVO). Σε αυτό το σημείο το ΔO₂ = 0,9% (2,11% O₂ αφήνει την εστία και 3,01% είναι η συγκέντρωση O₂ μετά τον LUVO), ενώ πρέπει να φτάσει το 1,4%. Γι' αυτό το λόγο μεταβάλλουμε τη διαρροή του LUVO στο 14% (από 9%) με αποτέλεσμα η συγκέντρωση O₂ μετά τον LUVO να έχει την τιμή 3,54%, άρα το ΔO₂ = 1,43%. Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων έχει την τιμή 184,5°C. Για την αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου θα μοντελοποιηθούν οι επικαθήσεις τέφρας (μάκα) στους εναλλάκτες θερμότητας, μέσω του μενού *Losses* στην επιλογή *Fouling Factor*. Μετά από δοκιμές εισάγεται η τιμή $10 \frac{m^2 \cdot K \cdot sec}{kJ}$ στους υπερθερμαντή, αναθερμαντή και οικονομητή

(ECO) και η τιμή $15 \frac{m^2 \cdot K \cdot sec}{kJ}$ στον LUVO, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων να είναι 209,4°C.

Σύμφωνα με τις παραπάνω αλλαγές μοντελοποιήθηκε η Μεγαλόπολη III στην υπάρχουσα κατάσταση. Η παραγωγή ηλεκτρικής προκύπτει 275.779 kW (με βαθμό απόδοσης 31,88%), ενώ η καθαρή ηλεκτρική παραγωγή (διαθέσιμη στο δίκτυο) είναι 251.065 kW (με βαθμό απόδοσης 29,03%).

5.2.5. Μοντελοποίηση Μεγαλόπολης III σε συνθήκες στόχου

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.4, η μονάδα της Μεγαλόπολης III στην παρούσα κατάσταση λειτουργίας παράγει περίπου 24 MW_e λιγότερα από την κατάσταση σχεδιασμού. Η Δ.Ε.Η. προτείνει μια σειρά δράσεων με σκοπό την αποδοτικότερη λειτουργία της μονάδας. Οι δράσεις αυτές εστιάζουν στη συντήρηση ή και αντικατάσταση εξοπλισμού της μονάδας, ή ακόμα και με την προσθήκη σύγχρονων συστημάτων λειτουργίας της μονάδας (μετρητικές διατάξεις κ.α.). Οι βελτιώσεις μέσω των δράσεων που σχεδιάζει η Δ.Ε.Η. φαίνονται στον πίνακα 5.2.8 και μοντελοποιήθηκαν στο Gate Cycle.

α/α	Δράσεις	Μέγεθος	Υπάρχουσα Κατάσταση	Στόχος
1	Μείωση παρασιτικού αέρα	Παρασιτικός αέρας (%)	30	20
		Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (°C)	210	190
2	Μείωση διαφυγών ατμού - νερού	Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (t/h)	18	14,4
3	Κύκλωμα ψυκτικού - συμπύκνωση	Κενό Ψυγείου (mbar)	76	80
4	Στεγανοποίηση LUVO	ΔO ₂ LUVO	1,4	1,2

Πίνακας 5.2.8. Δράσεις με σκοπό τη βελτίωση λειτουργίας της Μεγαλόπολης III

Αρχικά η μοντελοποίηση της εκάστοτε δράσης έγινε ανεξάρτητα των υπολοίπων, ώστε να φανεί η επίδραση της στη λειτουργία της μονάδας, ενώ στο τέλος θα δοθεί μια πρόταση στόχος, όπου θα παρουσιάζεται η συνολική βελτίωση από την εφαρμογή όλων των δράσεων

Στον ακόλουθο πίνακα 5.2.9. φαίνεται η υπολογισμένη βελτίωση που επιφέρουν οι παραπάνω δράσεις στον βαθμό απόδοσης της μονάδας, σύμφωνα με τη μοντελοποίηση στο Gate Cycle, σε πλήρη αντιστοιχία με τον πίνακα 5.2.8.

α/α	Μέγεθος	Υπάρχουσα Κατάσταση	Στόχος	Παραγόμενη ισχύς (kW)	Διαφορά Ισχύος (kW)	Νέος Βαθμός Απόδοσης	Διαφορά Βαθμού Απόδοσης
1	Παρασιτικός αέρας (%)	30	20	255.728	4.663	29,564%	0,539%
	Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (°C)	210	190 (193,3)*				
2	Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (t/h)	18	14,4	251.809	744	29,110%	0,085%
3	Κενό Ψυγείου (mbar)	76	80	251.937	872	29,126%	0,101%
4	ΔΟ ₂ LUVO	1,4	1,2 (12%**)	251.427	362	29,067%	0,042%

Πίνακας 5.2.9. Βελτίωση ισχύος και βαθμού απόδοσης Μεγαλόπολης III

* Ο στόχος της μείωσης του ποσοστού του παρασιτικού αέρα επιτεύχθηκε, ενώ η τιμή της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων αναγράφεται στην παρένθεση

** Η τιμή 12% υπολογίστηκε από δοκιμές στο πρόγραμμα Gate Cycle και αφορά το ποσοστό διαρροής αέρα από τον LUVO στα καυσαέρια ώστε να επιτευχθεί ΔΟ₂ ≤0,9%

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 5.2.9, παρατηρείται πως η σημαντικότερη βελτίωση του βαθμού απόδοσης οφείλεται στη δράση της μείωσης του παρασιτικού αέρα.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 5.2.10 της τελικής πρότασης στόχου για τη βελτίωση λειτουργίας της Μεγαλόπολης III, που ικανοποιεί όλες τις στοχοθετημένες δράσεις βελτίωσης της μονάδας.

Κατηγορία μετατροπής	Νέα τιμή μεγέθους	Νέα ισχύς P (kW)	Διαφορά Ισχύος (kW)	Νέος Βαθμός Απόδοσης	Διαφορά Βαθμού Απόδοσης
Κενό Ψυγείου	76 mbar	260.435	9.370	30,108%	1,083%
Διαρροές	14,4 t/h				
Παρασιτικός αέρας	20% (117 kg/s)				
ΔΟ ₂ (Διαρροή LUVO)	1,23% (11%)				
T_{exit} καυσαερίων	189,3 °C				

Πίνακας 5.2.10. Τελικά πρόταση «στόχος» Μεγαλόπολης III

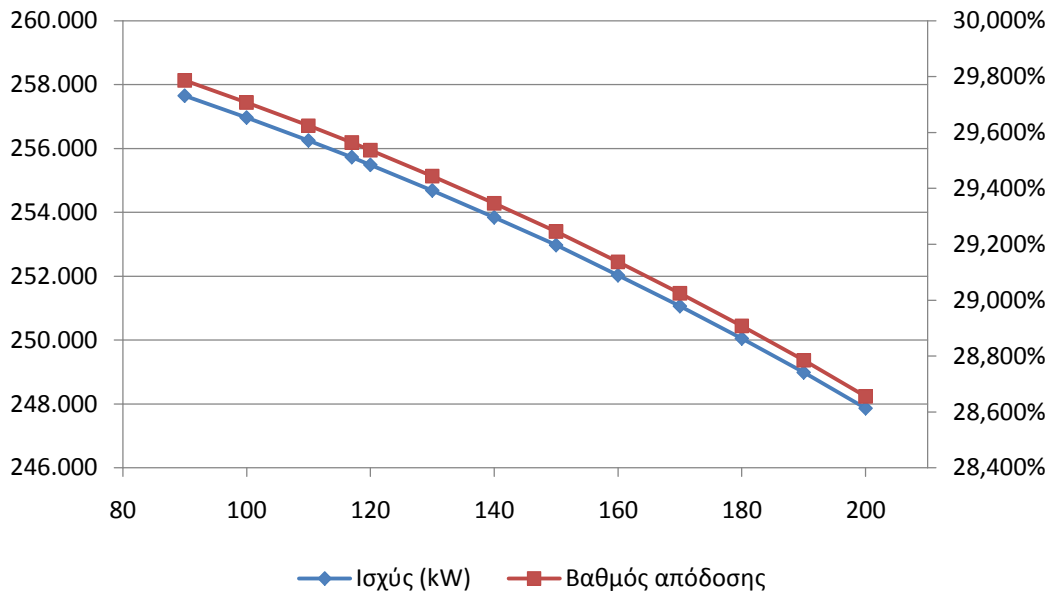
Με σκοπό την περαιτέρω ελάττωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων μοντελοποιείται ο καθαρισμός των επικαθήσεων τέφρας στους εναλλάκτες θερμότητας του λέβητα, μέσω της μείωσης της τιμής του *Fouling Factor*. Αναλυτικότερα, για την επίτευξη της τιμής 190°C στη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, ύστερα από δοκιμές εισάγεται η τιμή του *Fouling Factor* $2 \frac{m^2 \cdot K \cdot sec}{kJ}$

στους υπερθερμαντή, αναθερμαντή και οικονομητή (ECO) και η τιμή $5 \frac{m^2 \cdot K \cdot sec}{kJ}$ στον LUVO. Σύμφωνα με την πρόταση «στόχο» του πίνακα 5.2.10 επιτυγχάνεται η παραγωγή επιπλέον 9,4 MW από την σημερινή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Μεγαλόπολη III. Πιο συγκεκριμένα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 285.566 kW (με βαθμό απόδοσης 33,01%), ενώ η καθαρή ηλεκτρική παραγωγή (διαθέσιμη στο δίκτυο) είναι 260.435 kW (με βαθμό απόδοσης 30,11%).

Στη συνέχεια δίνονται οι παραμετρικές καμπύλες των προαναφερομένων δράσεων ώστε να είναι δυνατή η εποπτεία της λειτουργίας της μονάδας υπό διάφορες τιμές των προαναφερομένων μεγεθών. Θα παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα και σε μορφή διαγράμματος. Στους πίνακες με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται η υπάρχουσα κατάσταση και με πράσινο η κατάσταση «στόχος».

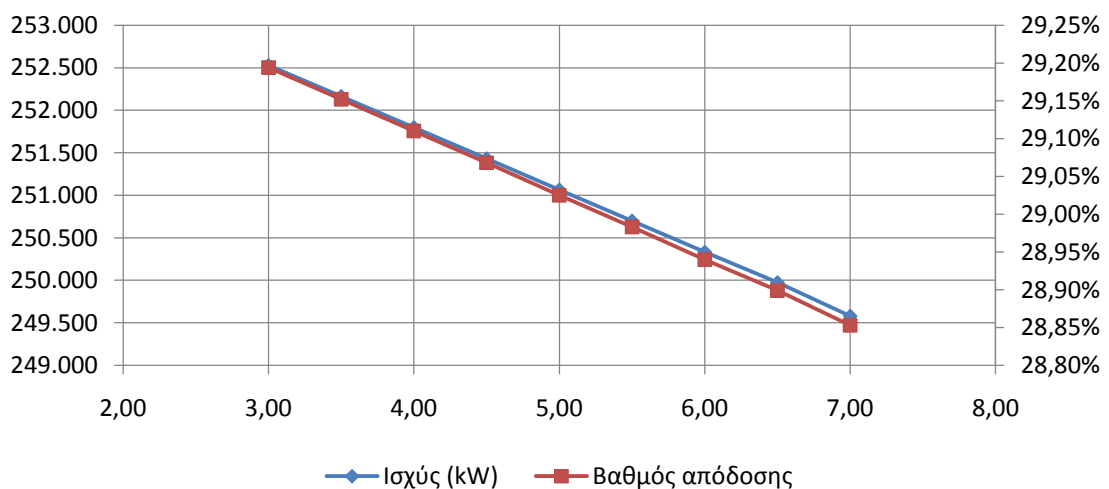
➤ Παρασιτικός αέρας

Παροχή Παρασιτικού (kg/s)	Παροχή LUVO (kg/s)	Ποσοστό παρασιτικού	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
200	366,88	35,28%	247.869	28,656%
190	379,38	33,37%	248.990	28,785%
180	391,88	31,48%	250.053	28,908%
170	404,38	29,60%	251.065	29,025%
160	416,88	27,74%	252.031	29,137%
150	429,38	25,89%	252.975	29,246%
140	441,88	24,06%	253.844	29,346%
130	454,38	22,25%	254.686	29,444%
120	466,88	20,45%	255.487	29,536%
117	470,63	19,91%	255.728	29,564%
110	479,39	18,66%	256.249	29,624%
100	491,88	16,90%	256.967	29,707%
90	504,38	15,14%	257.650	29,786%



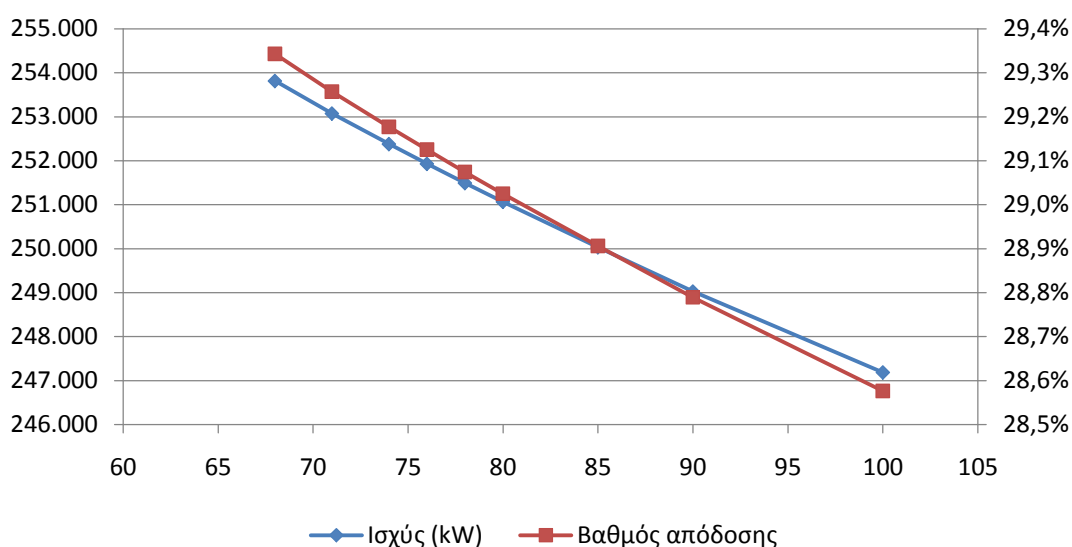
➤ Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού – Διαρροές

Παροχή (kg/s)	Παροχή (t/h)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
7,00	25,20	249.581	28,853%
6,50	23,40	249.975	28,899%
6,00	21,60	250.333	28,940%
5,50	19,80	250.700	28,983%
5,00	18,00	251.065	29,025%
4,50	16,20	251.432	29,068%
4,00	14,40	251.798	29,110%
3,50	12,60	252.164	29,152%
3,00	10,80	252.529	29,194%



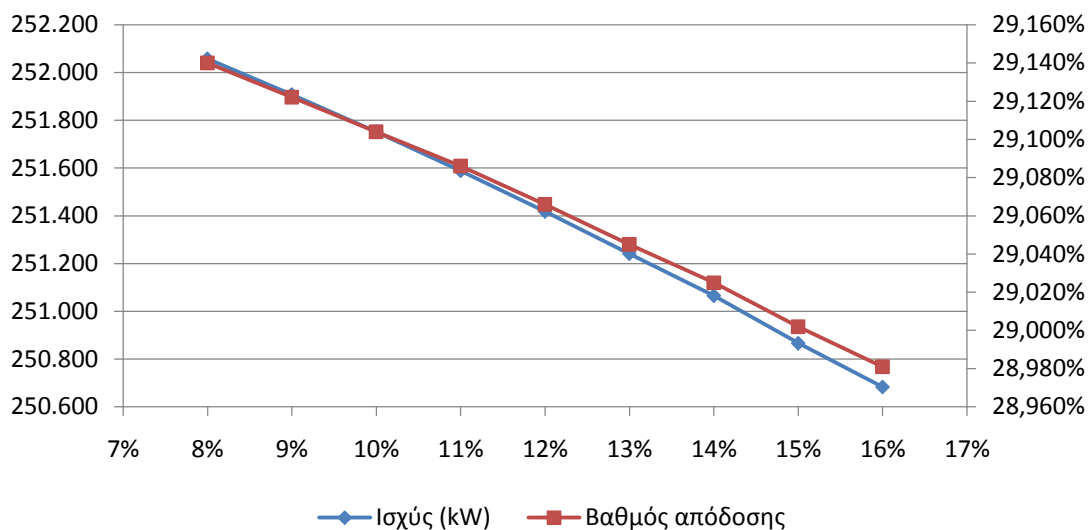
➤ Κενό Ψυγείου

Κενό Ψυγείου (mbar)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
100	247.182	28,576%
90	249.023	28,789%
85	250.032	28,906%
80	251.065	29,025%
78	251.492	29,074%
76	251.929	29,125%
74	252.379	29,177%
71	253.074	29,257%
68	253.814	29,343%



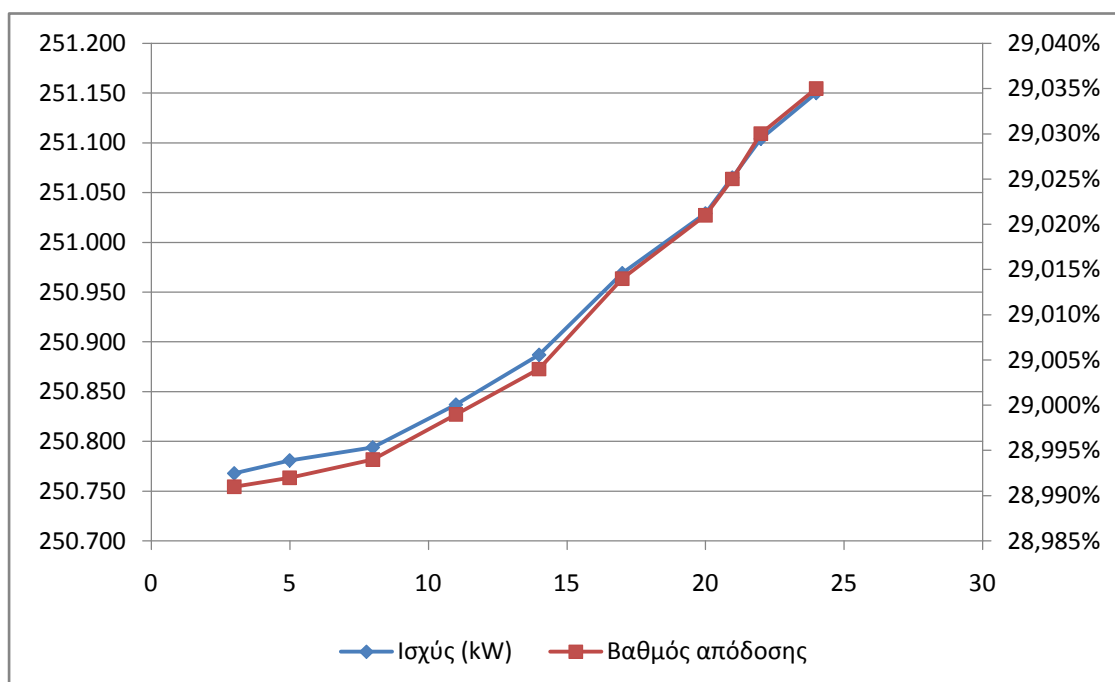
➤ Διαρροή LUVO

Παροχή αέρα προ LUVO (kg/s)	Παροχή διαρροής (kg/s)	Ποσοστό διαρροής	ΔO ₂	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
481,40	77,02	16%	1,65%	250.683	28,981%
475,74	71,36	15%	1,54%	250.866	29,002%
470,21	65,83	14%	1,43%	251.065	29,025%
464,80	60,42	13%	1,32%	251.241	29,045%
459,52	55,14	12%	1,21%	251.418	29,066%
454,36	49,98	11%	1,11%	251.588	29,086%
449,31	44,93	10%	1,00%	251.752	29,104%
444,37	39,99	9%	0,90%	251.907	29,122%
439,54	35,16	8%	0,79%	252.057	29,140%



➤ Τελευταίος Προθερμαντής Υψηλής πίεσης

Παροχή απομάστευσης (kg/s)	Θερμοκρασία Τροφ. Νερού (°C)	Παροχή Τροφ. Νερού (kg/s)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
24	253,05	234,72	251.150	29,035%
22	249,35	233,10	251.104	29,030%
20,97	247,41	232,29	251.065	29,025%
20	245,57	231,52	251.029	29,021%
17	239,77	229,11	250.969	29,014%
14	233,78	226,75	250.887	29,004%
11	227,61	224,38	250.837	28,999%
8	221,26	222,02	250.794	28,994%
5	214,72	219,65	250.781	28,992%
3	210,26	218,09	250.768	28,991%



5.2.6. Οικονομική ανάλυση επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Η Μεγαλόπολη III στην υπάρχουσα κατάσταση, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.2.4, παράγει 251.065 kW ηλεκτρικής ισχύος. Οι προτεινόμενες δράσεις από τη Δ.Ε.Η. με σκοπό τη βελτίωση της λειτουργίας της μονάδας, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.8, απαιτούν κόστος επένδυσης της τάξης των 6.022.000 €. Εφαρμόζοντας τις προτεινόμενες δράσεις αυτές, σύμφωνα με τον πίνακα 5.2.10, η ηλεκτρική ισχύς της μονάδας αυξάνεται στα 260.435 kW. Συνεπώς το όφελος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος είναι της τάξης των 9.370 kW. Με βάση τα ανωτέρω, υπολογίζεται ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης για κάθε δράση, ο οποίος παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2.11.

Όφελος παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (kW)	9.370
Ώρες λειτουργίας μονάδας ετησίως (hr)	7.500
Επιπρόσθετη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως (kWh)	70.275.000
Τιμή πώλησης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,10
Κέρδος από βελτιωτικές επενδύσεις (€)	7.027.500 €
Κόστος βελτιωτικών επενδύσεων (€)	6.022.000 €
Χρόνος αποπληρωμής (μήνες)	10,28

Πίνακας 5.2.11. Χρόνος αποπληρωμής επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.11, θεωρώντας ως μέση τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας $0,10 \text{ €/kWh}$ και 7.500 ώρες λειτουργίας ετησίως, οι επενδύσεις βελτίωσης της λειτουργίας του σταθμού αποπληρώνονται στον 11^ο μήνα της εφαρμογής τους.

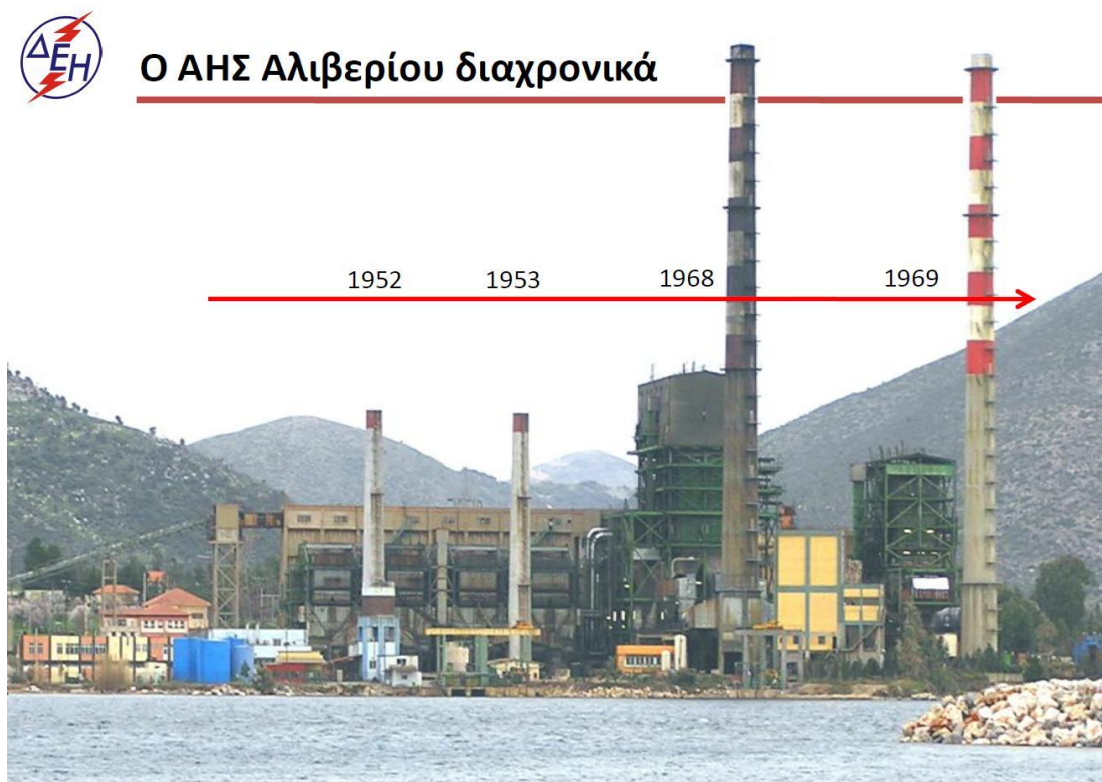
5.3 Α.Η.Σ. Αλιβερίου

5.3.1. Γενική Περιγραφή Α.Η.Σ. Αλιβερίου

Το Αλιβέρι αν και ήταν ανέκαθεν εμπορικό κέντρο και αλιευτικό λιμάνι, απέκτησε ιδιαίτερη σημασία από τα κοιτάσματα λιγνίτη που υπάρχουν στην περιοχή και ήταν γνωστά από την αρχαιότητα. Τα κοιτάσματα αυτά βρίσκονται μέσα σε τριτογενή μαργαϊκά πετρώματα. Το 1951 ανέλαβε την συστηματική οργάνωση του λιγνιτωρυχείου η Δ.Ε.Η. και το 1953 ίδρυσε Ατμοηλεκτρικό Σταθμό. [30]

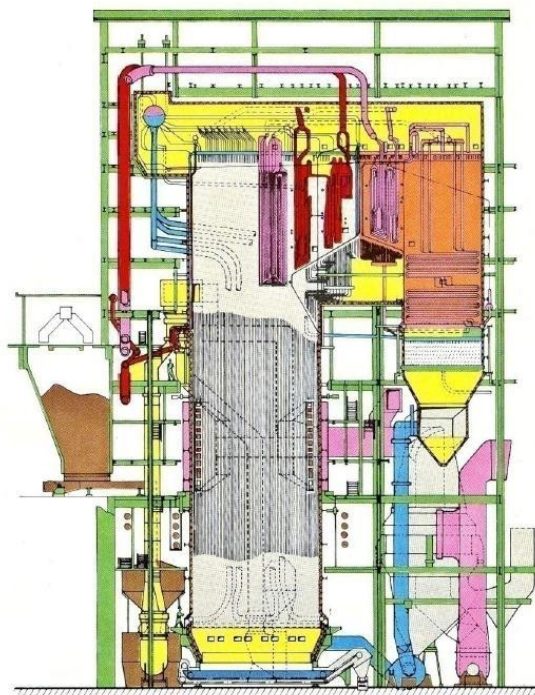
Πρόκειται για τον πρώτο Σταθμό της Δ.Ε.Η.. Είναι εγκατεστημένος δίπλα στη θάλασσα, στον Κάραβο, το λιμάνι της πόλης του Αλιβερίου, στο δυτικό μέρος της νήσου Εύβοιας και περίπου στο μέσο αυτής. Η απόσταση του σταθμού από την Αθήνα είναι 125km μέσω Χαλκίδας και 80km μέσω Ωρωπού – Ερέτριας. [30]

Η κατασκευή του Σταθμού έγινε σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο τελείωσε το 1953 όταν πρωτοξεκίνησε ο Σταθμός με 2 Μονάδες των 40MW η καθεμιά και το δεύτερο στάδιο το 1968 και 1969, όταν τέθηκαν σε λειτουργία 2 ακόμη Μονάδες των 150MW η καθεμιά. Έτσι η τοπογραφική διάταξη των εγκαταστάσεων και κτιρίων σήμερα δεν είναι η καλύτερη. [30]



Εικόνα 5.3.1. Άποψη Α.Η.Σ. Αλιβερίου, [31]

Η τρίτη μονάδα του Αλιβερίου ισχύος 150MW τέθηκε σε λειτουργία το 1968. Ο λέβητας της τρίτης μονάδας, ο οποίος φαίνεται και στην εικόνα 5.3.2, είναι κατασκευής STEIN INDUSTRIE [31] και είχε σχεδιασθεί να καίει λιγνίτη ή μαζούτ ή μείγμα λιγνίτη και μαζούτ. Η μεικτή καύση λιγνίτη-μαζούτ δημιούργησε μεγάλα προβλήματα ρύπανσης του λέβητα και έτσι σταμάτησε νωρίς να εφαρμόζεται. Από το 1983 εφαρμόστηκε μεικτή καύση λιγνίτη-λιθάνθρακα χωρίς να παρουσιάζονται προβλήματα στο λέβητα. Το 1969 τέθηκε σε λειτουργία και τέταρτη μονάδα των 150MW με χρήση μαζούτ. [30]



Εικόνα 5.3.2. Λέβητας Αλιβερίου III, [31]

Ο στρόβιλος της τρίτης μονάδας είναι κατασκευής ALHSTOM, τύπου δράσεως, έχει τρεις βαθμίδες (υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης) και δέχεται υπέρθερμο ατμό θερμοκρασίας 542°C και πίεσης 141 bar. Η γεννήτρια είναι επίσης κατασκευής ALHSTOM ισχύος 176,5 MVA. [31]

Η χρήση λιγνίτη σταμάτησε στον ΑΗΣ Αλιβερίου το 1987 και οι μονάδες του χρησιμοποιούν έκτοτε μόνο μαζούτ. Το 1991 οι μονάδες 1 και 2 του Αλιβερίου τέθηκαν σε κατάσταση ψυχρής εφεδρείας και δεν λειτούργησαν ξανά. [30]

Σήμερα το σύνολο των εργαζομένων στο σταθμό είναι 300 άτομα περίπου. Οι περισσότεροι των εργαζομένων είναι από την ευρύτερη περιοχή του σταθμού. Το προσωπικό κατανέμεται σε 4 τομείς, Λειτουργίας, Συντήρησης, Χημικής Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος και Διοικητικό-Οικονομικός. [30]

Η Επιχείρηση έχει ως στόχο τη συμμόρφωση με το εκάστοτε ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, και την ελαχιστοποίηση της όχλησης από τη λειτουργία του Σταθμού. Στο πλαίσιο αυτό έχουν εγκατασταθεί όργανα συνεχούς καταγραφής των

εκπεμπόμενων ρύπων για κάθε μονάδα. Για τον ΑΗΣ Αλιβερίου έχει εγκριθεί η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και έχουν εκδοθεί οι Περιβαλλοντικοί Όροι Λειτουργίας. Επίσης ο Σταθμός έχει καταρτίσει σύγχρονο Σχέδιο Αντιμετώπισης Έκτακτων Καταστάσεων. Από το σταθμό έχουν απομακρυνθεί όλοι οι μετασχηματιστές που περιείχαν PCBs και υλοποιείται το έργο της απομάκρυνσης αμιάντου από τις παλιές μονάδες I και II. [30]

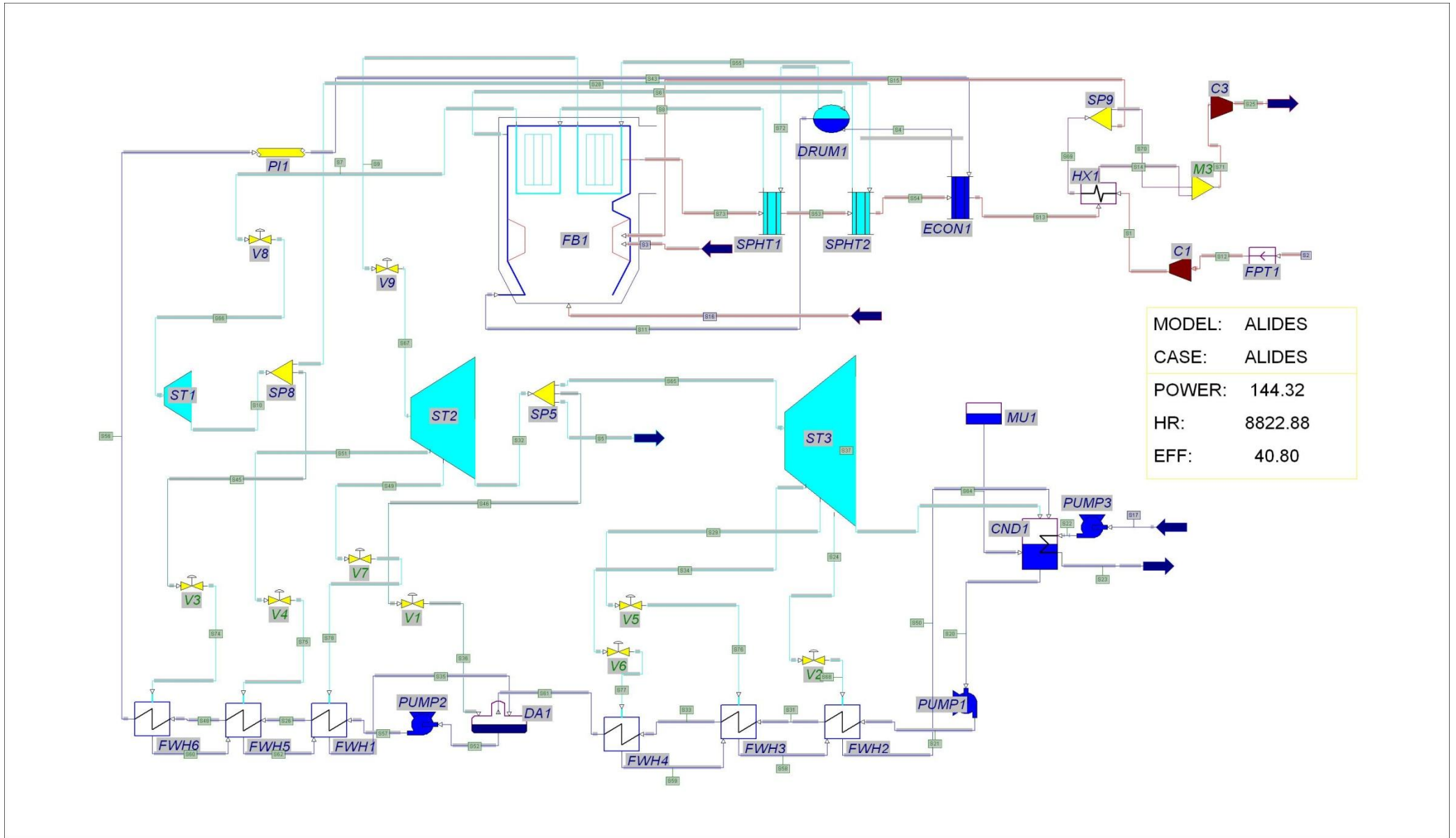
Όσον αφορά στις προσπάθειες για μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων θα πρέπει να σημειωθεί η χρήση βελτιωτικών καύσης στη Μονάδα III και η τοποθέτηση νέου συστήματος καυστήρων χαμηλών ρύπων στη Μονάδα IV. [30]

Εδώ και αρκετά χρόνια έχει εγκατασταθεί σύστημα κατεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων, τα οποία παλαιότερα οδηγούνταν στη θάλασσα. Ο Σταθμός είναι εξοπλισμένος έτσι ώστε η εκφόρτωση μαζούτ από το πλοίο στο λιμάνι του Αλιβερίου να γίνεται με ασφάλεια και να είναι δυνατή και έγκαιρη η αντιμετώπιση διαρροών προς τη θάλασσα. [30]

Σημαντικό πρόβλημα είναι η κατανάλωση περίπου 200 τόνων την ημέρα πηγαίου νερού από γεωτρήσεις της γύρω περιοχής για τη λειτουργία του σταθμού. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχει προβλεφθεί στο σχεδιασμό της νέας μονάδας φυσικού αερίου με την κατασκευή συστήματος αφαλάτωσης. Είναι φανερό ότι η κατασκευή της νέας μονάδας φυσικού αερίου και η προγραμματισμένη μετάβαση των μονάδων III και IV σε κατάσταση ψυχρής εφεδρείας το 2010 θα ελαχιστοποιήσουν τα παραπάνω περιβαλλοντικά προβλήματα. [30]

5.3.2. Μοντελοποίηση Α.Η.Σ. Αλιβερίου III σε συνθήκες σχεδιασμού

Η μοντελοποίηση του Αλιβερίου III σε συνθήκες σχεδιασμού, με χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Gate Cycle, έγινε σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή παράδοσης του σταθμού. Αναλυτικότερα ο εξοπλισμός που μοντελοποιήθηκε φαίνεται στον πίνακα 5.3.1, ενώ στην εικόνα 5.3.3 φαίνεται η σχηματικά η μοντελοποίηση του Αλιβερίου III στον περιβάλλον λειτουργίας του Gate Cycle.



Εικόνα 5.3.3. Μοντελοποίηση Αλιβερίου III στο Gate Cycle

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΟΛΙΑ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Λέβητας	FB1	Περιλαμβάνει την εστία, τον ατμοποιητή, και τον τελευταίο υπερθερμαντή και αναθερμαντή, πριν την έξοδο του ατμού από τον λέβητα
Ατμοστρόβιλος	ST1, ST2, ST3	Υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης αντίστοιχα
Υπερθερμαντές	SPHT1	Υπολοιπόμενοι υπερθερμαντές
Αναθερμαντές	SPHT2	Υπολοιπόμενοι αναθερμαντές
Τύμπανο	DRUM1	Για τον διαχωρισμό νερού από τον ατμό στον λέβητα
Οικονομητήρας	ECON1	
LUVO	HX1	
Ανεμιστήρες	C1, C3	Ανεμιστήρας για την εισαγωγή αέρα και ανεμιστήρας για την εξαγωγή των καυσαερίων, αντίστοιχα
Προθερμαντές νερού Χαμηλής Πίεσης (ΧΠ)	FWH2, FWH3, FWH4	Το συμπύκνωμα των προθερμαντών ΧΠ οδηγείται προς τα πίσω και καταλήγει στον συμπυκνωτή
Απαερωτής	DA1	
Προθερμαντές νερού Υψηλής Πίεσης (ΥΠ)	FWH1, FWH5, FWH6	Το συμπύκνωμα των προθερμαντών ΥΠ οδηγείται προς τα πίσω και καταλήγει στον απαερωτή
Τροφοδοσία νερού	MU1	Καλύπτει τις όποιες απώλειες νερού προς το περιβάλλον (διαρροές) – make up
Συμπυκνωτής (Ψυγείο)	CND1	
Αντλίες	PUMP1	Αντλία συμπυκνώματος
	PUMP2	Αντλία τροφοδοσίας
	PUMP3	Αντλία ψυκτικού νερού
Βαλβίδες	V8, V9	Για τη ρύθμιση της πίεσης πριν τον ατμοστρόβιλο ΥΠ και τον ΜΠ αντίστοιχα
	V1-V7	Βαλβίδες ρύθμισης πίεσης απομαστεύσεων ατμού προς προθερμαντές τροφοδοτικού νερού
Διακλαδώσεις	SP8	Το ρεύμα εξόδου από τον ατμοστρόβιλο ΥΠ, χωρίζεται σε αυτό που οδηγείται προς αναθερμανση και σε μια απομάστευση προς τον τελευταίο προθερμαντή ΥΠ
	SP5	Το ρεύμα ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο ΜΠ χωρίζεται σε 3 ρεύματα, ένα για τον ατμοστρόβιλο ΧΠ, ένα για τον απαερωτή και ένα για το περιβάλλον, που υποδηλώνει τις διαρροές
	SP9	Το θερμό ρεύμα αέρα μετά τον LUVO, χωρίζεται σε αυτό που οδηγείται στην εστία προς καύση και σε αυτό που οδηγείται στα καυσαέρια, υποδηλώνοντας τη διαρροή στον LUVO (από το SP5 ρυθμίζεται αυτή η διαρροή)
Μίκτης	M3	Ανάμιξη ρεύματος νερού από ECO με ρεύμα συμπυκνωμάτων (νερού) από διαχωριστή

Ρυθμιστής Θερμοκρασίας, Πίεσης, Παροχής	FPT1	Χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της θερμοκρασίας αέρα καύσης πριν τον LUVO
Απώλειες σωληνώσεων	PI1	Μοντελοποιείται η συνολική πτώση πίεσης του εργαζόμενου νερού - ατμού

Πίνακας 5.3.1. Μοντελοποιημένος εξοπλισμός στο Gate Cycle

Η ρύθμιση του προαναφερόμενου στον πίνακα 5.3.1 εξοπλισμού, αναλύεται στη συνέχεια. Στόχος ήταν η επίτευξη των ακόλουθων μεγεθών, ώστε η μοντελοποίηση να είναι αντιπροσωπευτική των συνθηκών σχεδιασμού της μονάδας:

- i. Την επίτευξη της μικτής ισχύος των 150 MW
- ii. Επίτευξη αναφερόμενης ατμοπαραγωγής των $429,4^t/h \approx 119,28^{kg/sec}$
- iii. Επίτευξη αναφερόμενης θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων 140°C

Εστία

- Το καύσιμο που χρησιμοποιείται στο Αλιβέρι III είναι μαζούτ, συνεπώς εισάγεται η τιμή 1 στην επιλογή *Oil*.
- Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της μονάδας, η κατώτερη θερμογόνος δύναμη για την οποία έχει γίνει η μελέτη του σταθμού κυμαίνεται από $9.500^{kcal/kg}$ έως $9.800^{kcal/kg}$. Κατά τη μοντελοποίηση επιλέγεται η μέση τιμή, συνεπώς η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του μαζούτ για το Αλιβέρι III είναι $9.650^{kcal/kg} \approx 40.400^{kJ/kg}$, τιμή η οποία εισάγεται στο μενού *Oil-Settings*
- Στο μενού *Combustion* εισάγεται η τιμή περίσσειας αέρα 12%
- Στο μενού *Design* γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για τα ρεύματα εξόδου του ατμού από τον λέβητα:
 1. Από το μενού *Water Walls Design Method* επιλέγεται η ξηρότητα του παραγόμενου ατμού (*Exit Quality*) στην οποία δίνεται η τυπική τιμή 95%
 2. Για την έξοδο του υπέρθερμου ατμού από το μενού *Superheater Design Method*, επιλέγεται να δίνεται η θερμοκρασία εξόδου αυτού (*Exit Temperature*), η οποία έχει την τιμή 542°C
 3. Για την έξοδο του ανάθερμου ατμού από το μενού *Reheater Design Method*, επιλέγεται να δίνεται η θερμοκρασία εξόδου αυτού (*Exit Temperature*), η οποία έχει την τιμή 542°C
- Τέλος ρυθμίζεται η πτώση πίεσης των ρευμάτων ατμού μέσα στην εστία, από το μενού *Pressure Loss*, σύμφωνα με τα δεδομένα της τεχνικής έκθεσης:
 1. Η πτώση πίεσης στον οικονομητήρα (ECO) είναι 2 bar και εισάγεται στο μενού *Losses* του οικονομητήρα

2. Η πίεση λειτουργίας του τυμπάνου είναι 152 bar και εισάγεται στο μενού *Pressure Method* επιλέγοντας *Outlet Pressure*, ενώ προκύπτει πως η πτώση πίεσης στο τύμπανο είναι 1 bar
3. Η συνολική πτώση πίεσης που δημιουργείται κατά την υπερθέρμανση έχει τιμή 10 bar, η οποία εισάγεται στον υπερθερμαντή της εστίας
4. Για τον αναθερμαντή η πτώση πίεσης έχει την τιμή των 3 bar, η οποία εισάγεται στον αναθερμαντή της εστίας

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αλλά και με τις ρυθμίσεις του υπόλοιπου εξοπλισμού, του οποίου η περιγραφή ακολουθεί, προέκυψε η κατανάλωση καυσίμου με στόχο την απαιτούμενη ατμοπαραγωγή και ισχύ. Η κατανάλωση μαζούτ έχει την τιμή $8,8 \text{ kg/s} \approx 31,68 \text{ t/h}$.

Καυσαέρια – Αέρας καύσης

Η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν είναι γνωστή για κάθε σημείο του λέβητα, μέσω της τεχνικής έκθεσης του σταθμού. Τα γνωστά στοιχεία είναι, η θερμοκρασία των καυσαερίων μετά τον οικονομητή, η οποία έχει τιμή 324°C και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα που έχει τιμή 140°C. Οι τιμές θερμοκρασίας των καυσαερίων ανάμεσα στους υπερθερμαντές και τους αναθερμαντές εισάγονται με σκοπό την επίτευξη της θερμοκρασίας εξόδου του υπέρθερμου κα αναθερμου ατμού αντίστοιχα, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμες ακριβείς τιμές.

Όπως προαναφέρθηκε το ποσοστό περίσσειας αέρα καύσης είναι 12%. Ο αέρας καύσης προθερμαίνεται πριν την εισαγωγή του στον προθερμαντή αέρα - καυσαερίων (LUVO) μέχρι τη θερμοκρασία των 58°C. Στη συνέχεια εισάγεται στον LUVO όπου θερμαίνεται περαιτέρω μέχρι τη θερμοκρασία των 279°C. Κατά τη θέρμανση του αέρα καύσης στο LUVO, υπάρχει διαρροή του ψυχρού ρεύματος (αέρας) στο θερμό ρεύμα (καυσαέριο). Το ποσοστό της διαρροής υπολογίζεται σύμφωνα με την παροχή αέρα πριν και μετά τον LUVO:

$$\text{Διαρροή} = \frac{\text{Είσοδος αέρα LUVO} - \text{Έξοδος αέρα LUVO}}{\text{Είσοδος αέρα LUVO}} = \frac{530 \text{ t/h} - 496 \text{ t/h}}{530 \text{ t/h}} \approx 6,5\%$$

Η διαρροή στο Gate Cycle μοντελοποιήθηκε με ένα διαχωριστή (SP8), ο οποίος μετά τον LUVO επιστρέφει την παραπάνω υπολογισμένη τιμή στο ρεύμα των καυσαερίων μέσω ενός μίκτη (M3). Η τιμή αυτή εισάγεται στο μενού *Specify Flow Fraction* του διαχωριστή, καθώς εισάγεται ως ποσοστό και όχι ως απόλυτη τιμή. Εξαιτίας της διαρροής αέρα στο LUVO, αυξάνεται η περιεκτικότητα O₂ στα καυσαέρια. Η τιμή ΔO₂ στην περιοχή του LUVO είναι 1,05%, καθώς τα καυσαέρια που αφήνουν την εστία έχουν περιεκτικότητα σε O₂ = 1,89%, ενώ τα καυσαέρια που

αφήνουν τον LUVO έχουν περιεκτικότητα σε O₂ = 2,94%. Οι τιμές αυτές φαίνονται στα *Report* του λέβητα (FB1) και του μίκτη στον LUVO (M3), αντίστοιχα.

Τέλος, εισάγεται μια τυπική τιμή παρασιτικού αέρα της τάξης του 10% ($\sim 14 \text{ kg/s}$), καθώς δεν υπάρχουν λεπτομερή στοιχεία για αυτό το μέγεθος. Ο

παρασιτικός αέρας εισάγεται στο ρεύμα *Air/Gas/Fuel Source* της εστίας, στο μενού *Flowrate*, αφού πρώτα γίνει η επιλογή *Air*.

Ατμοστροβίλος

Ο ατμοστροβίλος της μονάδας III του Αλιβερίου αποτελείται από μια βαθμίδα υψηλής πίεσης, μετά την έξοδο της οποίας ο ατμός αναθερμαίνεται και οδηγείται στις βαθμίδες μέσης και χαμηλής πίεσης. Τα στοιχεία λειτουργίας των ατμοστροβίλων σε συνθήκες σχεδιασμού, φαίνονται στον πίνακα 5.3.2.

	<u>Ατμοστροβίλος Υψηλής Πίεσης</u>	<u>Ατμοστροβίλος Μέσης Πίεσης</u>	<u>Ατμοστροβίλος Χαμηλής Πίεσης</u>
Πίεση εισόδου (bar)	140,0	30,89	6,50
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	541,2	541,8	326,81
Παροχή εισόδου (kg/s)	119,35	111,32	95,89
Πίεση εξόδου (bar)	34,32	6,50	0,05
Παροχή εξόδου (kg/s)	119,35	102,88	79,68
Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης (%)	84%	90%	91%
Παραγόμενη Μηχανική Ισχύς (kW)	40.520	46.323	65.795

Πίνακας 5.3.2. Χαρακτηριστικά ατμοστροβίλων Αλιβερίου III

Τα δεδομένα λειτουργίας του παραπάνω πίνακα δίνονται από το πρόγραμμα *Gate Cycle* και είναι σε συμφωνία με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού. Οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης επιλέχθηκαν ώστε να επιτυγχάνεται η ενθαλπία εξόδου που δίνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας και εισάγονται από το μενού *Design Point Efficiency method* επιλέγοντας *Isentropic Expansion Efficiency*. Τέλος, η παραγόμενη μηχανική ισχύς προκύπτει από το πρόγραμμα στο *Report* κάθε ατμοστροβίλου και αποτελεί την ισχύ που μεταφέρεται στην άτρακτο των ατμοστροβίλων.

Ολοκληρώνοντας, θεωρείται μία διαρροή ατμού μετά την έξοδο του ατμοστροβίλου μέσης πίεσης, η οποία μοντελοποιείται μέσω του διαχωριστή 5 (SP5) και αντιπροσωπεύει την όποια πιθανή διαρροή νερού ή ατμού από το

κύκλωμα. Η τιμή της διαρροής σε συνθήκες σχεδιασμού είναι $3 \text{ kg/s} \approx 10,8 \text{ t/h}$ και αποτελεί μια τυπική τιμή αυτού του μεγέθους.

Τροφοδοτικό νερό – Προθερμαντές & Αντλίες

Για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού πριν την είσοδό του στον λέβητα, χρησιμοποιούνται 7 προθερμαντές. Οι τρεις πρώτοι είναι χαμηλής πίεσης, κλειστού τύπου, επιστρέφοντας το συμπύκνωμα στο ψυγείο, ο τέταρτος είναι ανοικτού τύπου και χρησιμοποιείται παράλληλα ως απαερωτής, ενώ οι τρεις τελευταίοι είναι υψηλής πίεσης, κλειστού τύπου επιστρέφοντας το συμπύκνωμα στον απαερωτή. Η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον λέβητα ύστερα από τους προθερμαντές είναι 239°C.

Όσον αφορά τις απομαστεύσεις ατμού για τη λειτουργία των προθερμαντών, είναι γνωστές οι παροχές, όχι όμως και οι πιέσεις των απομαστεύσεων. Θεωρώντας πως ο απαερωτής λειτουργεί σε πίεση 6 bar και γνωρίζοντας και τη θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού μετά τον τελευταίο προθερμαντή (239°C), κατανεμήθηκε εξίσου στους υπόλοιπους προθερμαντές η αύξηση της θερμοκρασίας του τροφοδοτικού νερού. Γνωρίζοντας τη θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού ύστερα από κάθε προθερμαντή, προκύπτουν και οι άγνωστες πιέσεις κορεσμού των απομαστεύσεων ατμού. Η μοντελοποίηση έγινε σύμφωνα με τη Διαφορά Θερμοκρασίας Τερματικού (*Terminal Temperature Difference/TTD* – περισσότερες λεπτομέρειες για την οποία δίνονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο του ατμοηλεκτρικού σταθμού της Καρδιάς). Για τον έλεγχο της ορθότητας της παραπάνω διαδικασίας επαληθεύεται πως οι παροχές απομάστευσης δεν απέχουν σημαντικά από τις αντίστοιχες παροχές απομάστευσης της τεχνικής περιγραφής του σταθμού (παροχές αναφοράς). Ακολουθεί ο πίνακας 5.3.3, στον οποίο φαίνονται τα όσα περιγράφηκαν, ενώ με κόκκινο σημειώνονται τα γνωστά μεγέθη από την τεχνική περιγραφή του Αλιβερίου III.

	Θερμ. Εξόδου Τροφοδ. Νερού από Προθερμ. (°C)	TTD (°C)	Πίεση Απομάστευσης (bar)	Παροχή απομάστευσης (kg/s)	Παροχή αναφοράς (kg/s)
Προθερμαντής 6	57,0	2	0,19	3,79	3,72
Προθερμαντής 5	104,1	3	1,30	7,41	7,39
Προθερμαντής 4	133,8	2	3,20	5,01	4,94
Απαερωτής	158,0		6,50	3,98	3,83
Προθερμαντής 3	177,5	2	11,0	3,03	3,0
Προθερμαντής 2	206,5	2	18,50	5,40	5,44
Προθερμαντής 1	239	2,5	34,32	8,04	7,97

Πίνακας 5.3.3. Λειτουργία προθερμαντών

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκαν τα άγνωστα μεγέθη των απομαστεύσεων, ενώ οι τιμές της στήλης TTD του πίνακα 5.3.3 εισήχθησαν από το μενού *Calculation Method* επιλέγοντας το *Terminal Temperature Difference*. Οι πιέσεις των απομαστεύσεων ορίστηκαν σε κάθε ατμοστρόβιλο στο μενού *Extractions*. Σε κάθε προθερμαντή υπολογίστηκε πτώση πίεσης του τροφοδοτικού νερού της τάξης του 1 bar, η οποία εισάγεται στο μενού *Losses* στην επιλογή *Cold Side Pressure Drop*.

Η ρύθμιση των αντλιών έγινε με στόχο την επίτευξη της απαραίτητης πίεσης στον αντίστοιχο για κάθε αντλία εξοπλισμό. Συνοπτικά τα δεδομένα λειτουργίας των αντλιών του συστήματος αποτυπώνονται στον πίνακα 5.3.4.

	Πίεση εισόδου (bar)	Πίεση εξόδου (bar)	Διαχειριζόμενη Παροχή (kg/s)	Κατανάλωση ισχύος (kW)
Αντλία Συμπυκνώματος	0,05	10,0	98,91	123,65
Τροφοδοτική Αντλία	6,0	161,0	119,34	2.472,6
Αντλία ψυκτικού μέσου	1,013	3,0	5.254,7	1.316,0

Πίνακας 5.3.4. Λειτουργία αντλιών

Η ρύθμιση της πίεση εξόδου των αντλιών σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.3.5, έγινε από το μενού *Pump Exit Pressure*, ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς δίνεται από το πρόγραμμα στο *Report* κάθε αντλίας.

Τέλος, ο συμπυκνωτής (ψυγείο) λειτουργεί σε πίεση κενού των 50 mbar, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού νερού είναι 8°C και η πτώση πίεσης του είναι 1,5 bar.

Βαθμοί απόδοσης

Αρχικά θα υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του λέβητα. Όλα τα ρεύματα που εισέρχονται και εξέρχονται στον λέβητα φαίνονται αναλυτικότερα στον πίνακα 5.3.5.

	Παροχή (kg/s)	Ενθαλπία (kJ/kg)	Ισχύς (kW)
ΕΙΣΟΔΟΙ			
Τροφοδοτικό νερό πριν τον ECO	119,34	1.034,00	123.397,56
Ατμός προς αναθέρμανση	111,31	3.088,71	343.804,31
ΣΥΝΟΛΟ:			467.201,87
ΕΞΟΔΟΙ			
Υπέρθερμος ατμός	119,34	3.435,14	409.949,61
Ανάθερμος ατμός	111,31	3.549,33	395.075,92
ΣΥΝΟΛΟ:			805.025,53
ΚΑΥΣΙΜΟ			
Λιγνίτης	8,8	40.400,0	355.520

Πίνακας 5.3.5. Ρεύματα εισόδου και εξόδου λέβητα

$$\eta_E = \frac{(\text{έξοδος} - \text{είσοδος})}{\text{καύσιμο}} = \frac{(805.025,53 - 467.201,87)}{355.520} = 95,02\%$$

Στα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας δίνεται ο βαθμός απόδοσης της εστίας (η_E) με τιμή 94,2%, αρκετά κοντά στον παραπάνω υπολογισμένο.

Συνεπώς από τα 355.520 kW καυσίμου μεταφέρονται μέσω της εστίας, με βαθμό απόδοσης 95,02%, στον ατμό του συστήματος 337.815,10 kW προς εκμετάλλευση από τον ατμοστρόβιλο. Ο ατμοστρόβιλος σύμφωνα με τον πίνακα 5.3.2 παράγει μηχανική ισχύ 152.637 kW, συνεπώς έχει ένα βαθμό απόδοσης $\eta_T = 152.637/337.815,10 = 45,18\%$. Στα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού δίνεται η ειδική κατανάλωσης θερμότητας του ατμοστροβίλου με τιμή $1.929 \text{ kcal}/\text{kWh} = 8.076,34 \text{ kJ}/\text{kWh}$, το οποίο δίνει βαθμό απόδοσης

ατμοστροβίλου $\eta_T = \frac{860}{1.929} = 44,58 \%$, τιμή κοντινή με την ως άνω υπολογισμένη. Από τα 152.637 kW η ηλεκτρική γεννήτρια με βαθμό απόδοσης $\eta_G = 98\%$ παράγει ηλεκτρική ισχύ $149.584 \text{ kW}_e \approx 150 \text{ MW}_e$.

Όσον αφορά τις ιδιοκαταναλώσεις, στη τεχνική έκθεση του σταθμού δίνονται μόνο για φορτίο των 135 MW_e και έχουν τιμή 4.957 kW για καύση μαζούτ, ενώ σύμφωνα με το Gate Cycle για το σχεδιασμένο φορτίο των 150 MW_e οι ιδιοκαταναλώσεις είναι 5.261 kW, τιμή κοντινή στην προηγούμενη, συνεπώς αποδεκτή. Η καθαρή παρεχόμενη ηλεκτρικής ισχύς στο δίκτυο είναι 144.323 kW_e , άρα το ποσοστό της ιδιοκατανάλωσης υπολογίζεται ως $\eta_{BOP} = 5.261/149.584 = 3,52\%$.

Έχοντας υπολογισμένες όλες τις απαραίτητες τιμές ισχύος και βαθμών απόδοσης του συστήματος, είναι δυνατός ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης της μονάδας. Αρχικά θα υπολογιστεί ο μικτός βαθμός απόδοσης, ο οποίος δεν περιλαμβάνει την ιδιοκατανάλωση:

$$\eta_{Gross} = \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \frac{149.584}{355.520} = 42,07\%$$

ή

$$\eta_{Gross} = \eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_G = 95,02\% \cdot 45,18\% \cdot 98\% = 42,07\%$$

Ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται ο καθαρός βαθμός απόδοσης της μονάδας, ο οποίος περιλαμβάνει την ιδιοκατανάλωση:

$$\begin{aligned} \eta_{Net} &= \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς} - \text{ισχύς ιδιοκαταναλώσεων}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \\ &= \frac{149.584 - 5.261}{355.520} = 40,59\% \end{aligned}$$

ή

$$\eta_{Net} = \eta_E \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot (1 - \eta_{BOP}) = 95,02\% \cdot 45,18\% \cdot 98\% \cdot (1 - 3,52\%) = 40,59\%$$

Ανακεφαλαιώνοντας, το Αλιβέρι III παράγει 150 MW_e από τα οποία παρέχει στο δίκτυο τα 144,3 MW_e, με βαθμό απόδοσης 40,59%. Τα βασικότερα από τα παραπάνω μεγέθη είναι διαθέσιμα στο Gate Cycle μέσω του *System Report* και επαληθεύονται από τους παραπάνω υπολογισμούς.

5.3.3. Μοντελοποίηση Υπάρχουσας Κατάστασης Αλιβερίου III

Η Δ.Ε.Η. θέλοντας να αποτυπώσει την κατάσταση λειτουργίας της μονάδας, έκανε μετρήσεις σε κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας του σταθμού. Οι τιμές αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3.6.

Μέγεθος	Υπάρχουσα Κατάσταση
Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (kg/s)	5
Καταναλισκόμενη ενέργεια Αεροσυμπιεστή Γ.Χ. (MWh) (kW)*	580 (161,1)*
Διακοπή λειτουργίας 5 ^{ου} προθερμαντή (6η απομάστευση)	-
Παροχή ατμού 5 ^{ης} απομάστευσης προς δεξαμενές μαζούτ (kg/s)	0,1
Καταναλισκόμενη ενέργεια (MWh) (kW)*	8.400 (2.333,3)*
Παροχή ατμού 6 ^{ης} απομάστευσης προς θερμικές καταναλώσεις (kg/s)	2

Πίνακας 5.3.6. Υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας Αλιβερίου III

Με σκοπό την αποτελεσματική σύγκριση των δύο μοντέλων διατηρούνται σταθερά η παροχή καυσίμου και οι επιφάνειες συναλλαγής (*Surface Area*) όλων των εναλλακτών θερμότητας (υπερθερμαντές, αναθερμαντές, ECO & LUVO). Ακολουθεί η περιγραφή της τροποποίησης των μεγεθών σε υπάρχουσες συνθήκες:

- Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (διαρροή νερού), από τον διαχωριστή SP5, όπου μοντελοποιούνται οι διαρροές εισάγεται η επιθυμητή τιμή στο μενού *Specify Flow*
- Οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ισχύος με συνολική τιμή 2.494,4 kW, εισάγονται στο μενού *Inputs→System→Miscellaneous* στην επιλογή *Balance of Plant Losses (fixed value)*
- Για τη διακοπή λειτουργίας του 5^{ου} προθερμαντή (FWH3) μηδενίζεται η παροχή ατμού προς τον προθερμαντή με την επιλογή *Bypass, Steam Flow=0*, ενώ ο επόμενος προθερμαντής (4^{ος}) μοντελοποιείται ανάλογα ώστε να μην αυξηθεί η απομάστευση ατμού, η οποία θα καλύψει τη δυσλειτουργία τον 5^{ου}

- Στην 5^η απομάστευση προστίθεται ένας διαχωριστής (SP1) από τον οποίο απομαστεύεται η ποσότητα 0,1 kg/s και έπειτα από ένα ρυθμιστή θερμοκρασίας (FPT2) καταλήγει ως κορεσμένο νερό στο ψυγείο
- Στην 6^η απομάστευση προστίθεται ένας διαχωριστής (SP2) από τον οποίο απορρίπτεται στο περιβάλλον η ποσότητα των 2 kg/s

Σύμφωνα με τις παραπάνω αλλαγές μοντελοποιήθηκε το Αλιβέρι III στην υπάρχουσα κατάσταση. Η παραγωγή ηλεκτρικής προκύπτει 145.559 kW (με βαθμό απόδοσης 40,943%), ενώ η καθαρή ηλεκτρική παραγωγή (διαθέσιμη στο δίκτυο) είναι 137.855 kW (με βαθμό απόδοσης 38,776%).

5.3.4. Μοντελοποίηση Αλιβερίου III σε συνθήκες στόχου

Στα μεγέθη που αναφέρονται στον πίνακα 5.3.6, η Δ.Ε.Η. προτείνει κάποιες δράσεις μέσω των οποίων θα βελτιωθεί η κατάσταση λειτουργίας του Αλιβερίου III. Οι δράσεις αυτές, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 5.3.7.

α/α	Δράσεις	Μέγεθος	Υπάρχουσα Κατάσταση	Στόχος
1	Μείωση διαφυγών ατμού - νερού	Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (kg/s)	5	3,5
2	Αντικατάσταση Αεροσυμπιεστή Γ.Χ.	Καταναλισκόμενη ενέργεια Αεροσυμπιεστή Γ.Χ. (MWh) (kW)*	580 (161,1)*	290 (80,6)*
3	Αντικατάσταση προθερμαντή Νο 5	Διακοπή λειτουργίας 5ου προθερμαντή (6η απομάστευση)	-	-
4	Μόνωση δεξαμενών μαζούτ	Παροχή ατμού 5ης απομάστευσης προς δεξαμενές μαζούτ (kg/s)	0,1	0,016
5	Μείωση ιδιοκαταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας	Καταναλισκόμενη ενέργεια (MWh) (kW)*	8.400 (2.333,3)*	3.000 (833,3)*
6	Μείωση καταναλώσεων θερμότητας	Παροχή ατμού 6ης απομάστευσης προς θερμικές καταναλώσεις (kg/s)	2	1,1

Πίνακας 5.3.7. Δράσεις με σκοπό τη βελτίωση του Αλιβερίου III

Μοντελοποιώντας τις τιμές «στόχους» του παραπάνω πίνακα 5.3.7 στο υπολογιστικό πρόγραμμα Gate Cycle, υπολογίζεται η βελτίωση που προκύπτει από την εφαρμογή της κάθε μιας ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης φαίνονται στον πίνακα 5.3.8.

α/α	Μέγεθος	Υπάρχουσα Κατάσταση	Στόχος	Παραγόμενη ισχύς (kW)	Διαφορά Ισχύος (kW)	Νέος Βαθμός Απόδοσης	Διαφορά Βαθμού Απόδοσης
1	Συμπλήρωση αφαλατωμένου νερού (kg/s)	5	3,5	138.948	1.093	39,08%	0,31%
2	Καταναλισκόμενη ενέργεια Αεροσυμπιεστή Γ.Χ. (MWh) (kW)*	580 (161,1)*	290 (80,6)*	137.940	85	38,80%	0,02%
3	Διακοπή λειτουργίας 5 ^{ου} προθερμαντή (6 ^η απομάστευση)	-	-	139.466	1.611	39,23%	0,45%
4	Παροχή ατμού 5 ^{ης} απομάστευσης προς δεξαμενές μαζούτ (kg/s)	0,1	0,016	137.912	57	38,79%	0,02%
5	Καταναλισκόμενη ενέργεια (MWh) (kW)*	8.400 (2.333,3)*	3.000 (833,3)*	139.359	1.504	39,20%	0,42%
6	Παροχή ατμού 6 ^{ης} απομάστευσης προς θερμικές καταναλώσεις (kg/s)	2	1,1	138.240	385	38,88%	0,11%

Πίνακας 5.3.8. Βελτίωση Ισχύος και Βαθμού Απόδοσης Αλιβερίου III

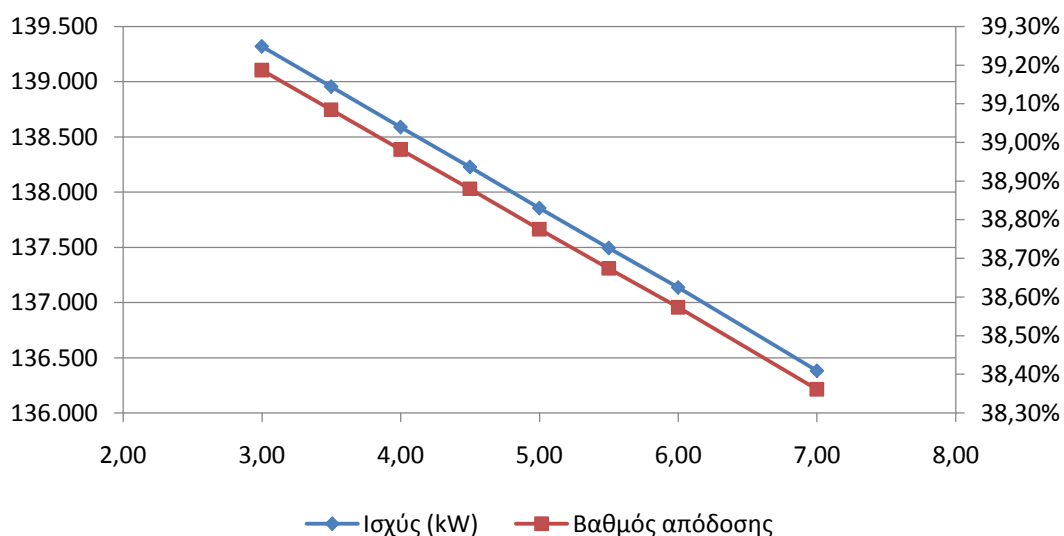
Παρατηρείται από τον πίνακα 5.3.8 πως τα μεγέθη που επηρεάζουν ιδιαίτερα τη λειτουργία της μονάδας είναι η δυσλειτουργία 5^{ου} προθερμαντή, οι αυξημένες ιδιοκαταναλώσεις ισχύος αλλά και οι διαρροές ατμού από το κύκλωμα.

Σε περίπτωση που εφαρμοστούν όλες οι δράσεις του πίνακα 5.3.7 και επιτευχθούν όλα τα μεγέθη «στόχος» η μικτή ενεργειακή παραγωγή της μονάδας θα ανέρχεται στα 148.724 kW (με βαθμό απόδοσης 41,833%), ενώ η καθαρή παραγόμενη ισχύς θα ανέρχεται στα 142.566 kW (με βαθμό απόδοσης 40,101%).

Στη συνέχεια ακολουθούν μερικές παραμετρικές καμπύλες χαρακτηριστικών μεγεθών του σταθμού, με σκοπό την εξέταση της λειτουργίας του σταθμού υπό διαφορετικές συνθήκες. Στους ακόλουθους πίνακες με κόκκινο χρώμα είναι η τιμή του μεγέθους στην υπάρχουσα κατάσταση, ενώ πράσινο η τιμή «στόχος» του αντίστοιχου μεγέθους.

➤ Διαρροή ατμού – νερού

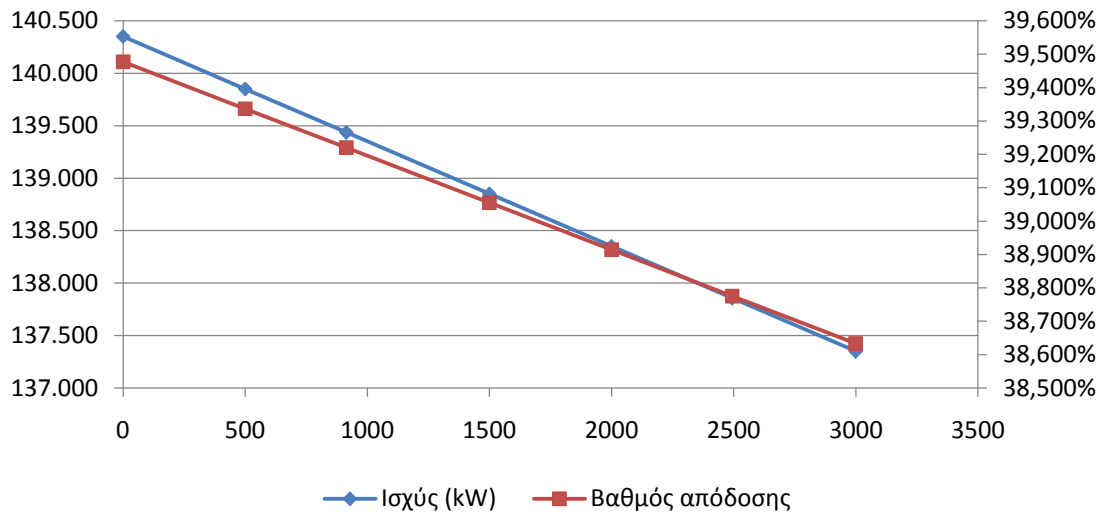
Παροχή (kg/s)	Παροχή (t/h)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
7,00	25,20	136.383	38,362%
6,00	21,60	137.137	38,574%
5,50	19,80	137.494	38,674%
5,00	18,00	137.855	38,776%
4,50	16,20	138.227	38,880%
4,00	14,40	138.588	38,982%
3,50	12,60	138.954	39,085%
3,00	10,80	139.318	39,187%



➤ Ιδιοκατανάλωση

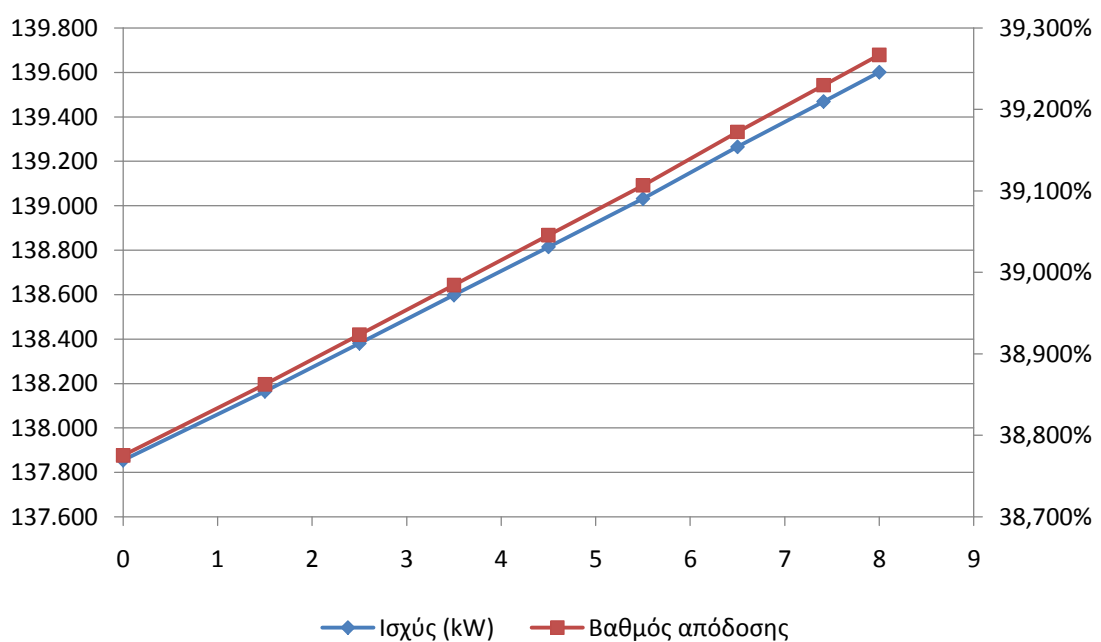
Ιδιοκατανάλωση (kW)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
3000	137.349	38,633%
2494,4	137.855	38,776%
2000	138.349	38,915%
1500	138.849	39,055%
913,9	139.435	39,220%
500	139.849	39,336%
0	140.349	39,477%

* Η παραπάνω ιδιοκατανάλωση δεν αφορά το σύνολο των ιδιοκαταναλώσεων της μονάδας, αλλά τις επιπρόσθετες ιδιοκαταναλώσεις λόγω παλαιότητας της μονάδας (όπως για παράδειγμα όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.3.7 αυξημένη ιδιοκατανάλωση αεροσυμπιεστή Γ.Χ.)



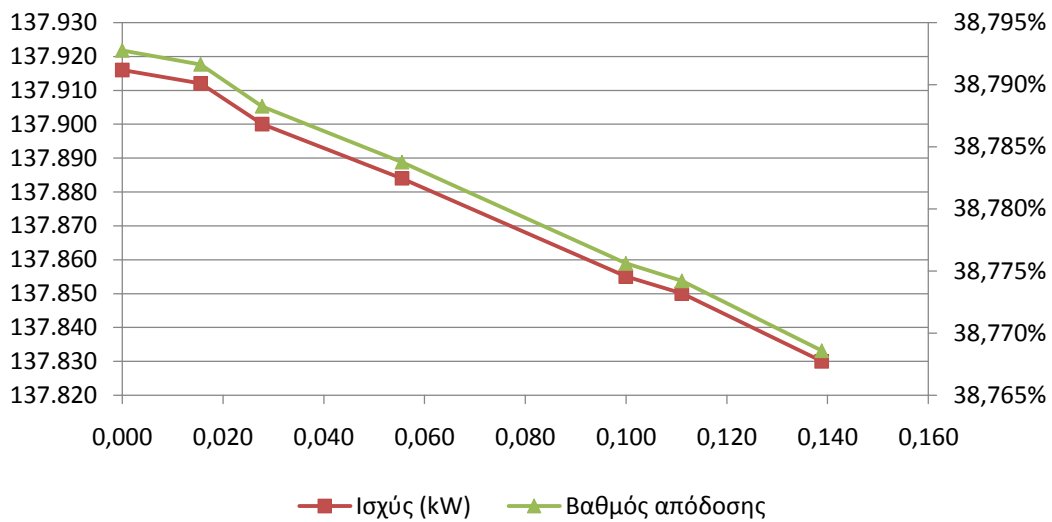
➤ 5^{ος} Προθερμαντής τροφοδοτικού νερού

Παροχή απομάστευσης (kg/s)	Θερμοκρασία τροφod. νερού μετά τον προθερμαντή (°C)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
8	107,61	139.601	39,267%
7,41	104,13	139.469	39,230%
6,5	98,75	139.265	39,172%
5,5	92,68	139.032	39,107%
4,5	86,48	138.815	39,046%
3,5	80,16	138.598	38,985%
2,5	73,71	138.381	38,924%
1,5	67,12	138.165	38,863%
0	59,96	137.855	38,776%



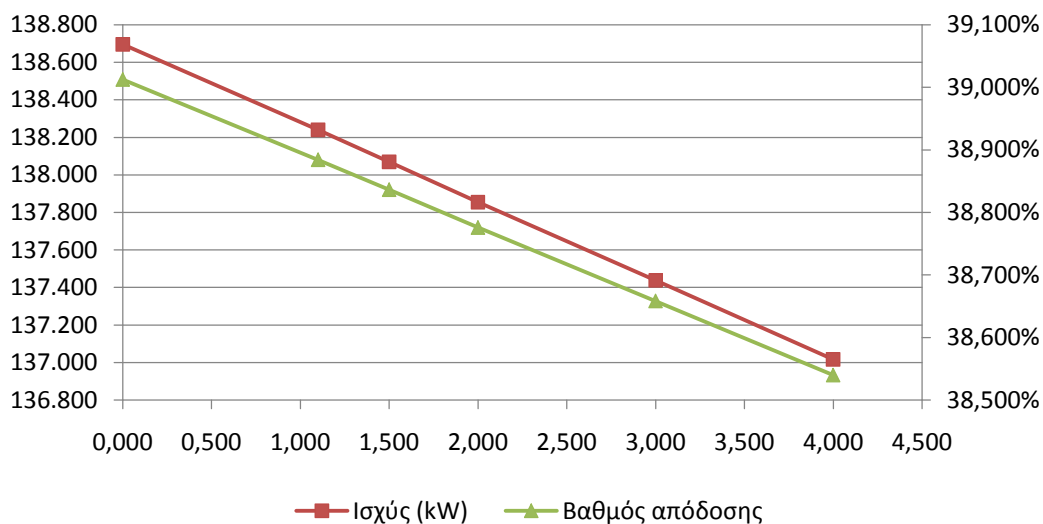
➤ Απομάστευση ατμού προς δεξαμενές μαζούτ

Παροχή (kg/s)	Παροχή (t/h)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
0,139	0,50	137.830	38,769%
0,111	0,40	137.850	38,774%
0,100	0,36	137.855	38,776%
0,056	0,20	137.884	38,784%
0,028	0,10	137.900	38,788%
0,016	0,056	137.912	38,792%
0,000	0,00	137.916	38,793%



➤ Απομάστευση ατμού προς θερμικές καταναλώσεις

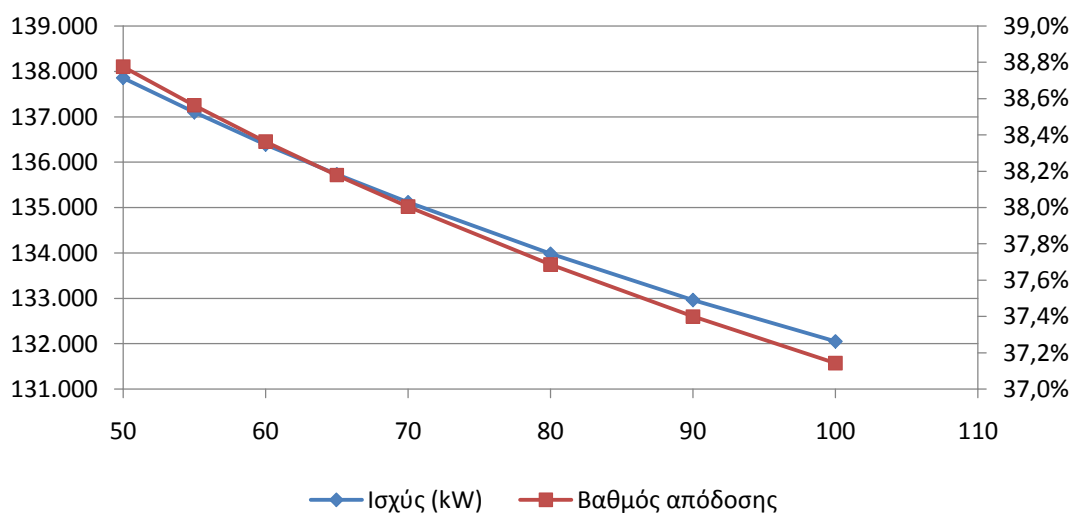
Παροχή (kg/s)	Παροχή (t/h)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
4,0	14,40	137.017	38,540%
3,0	10,80	137.438	38,658%
2,0	7,20	137.855	38,776%
1,5	5,40	138.070	38,836%
1,1	3,96	138.240	38,884%
0,0	0,00	138.696	39,012%



Τα μεγέθη των ακόλουθων παραμετρικών καμπυλών δε σχετίζονται με δράσεις βελτίωσης του βαθμού απόδοσης της μονάδας, αποτελούν όμως σημαντικά μεγέθη για τη λειτουργία του, γι' αυτό και μελετώνται παραμετρικά.

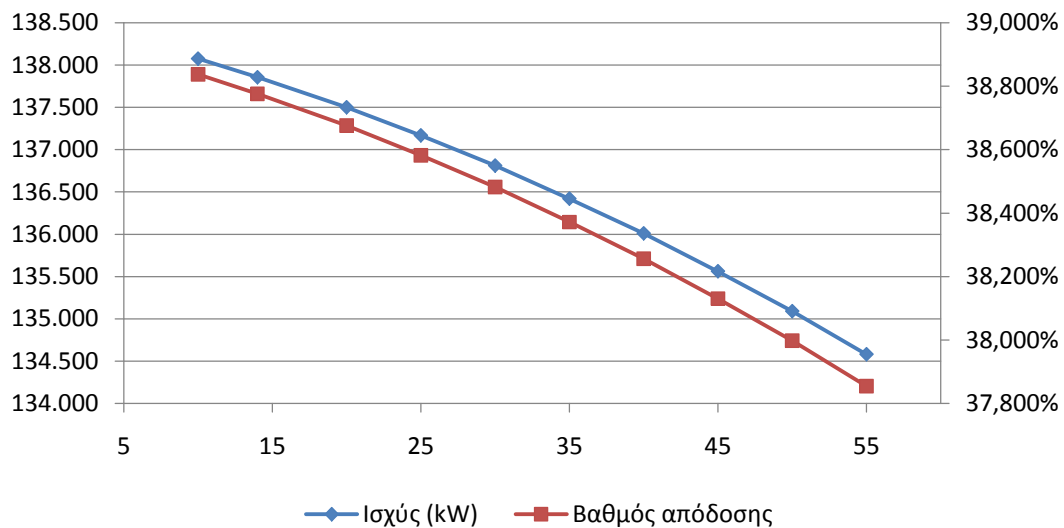
➤ Κενό ψυγείου

Κενό Ψυγείου (mbar)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
100	132.050	37,143%
90	132.962	37,399%
80	133.980	37,686%
70	135.116	38,005%
65	135.732	38,178%
60	136.386	38,362%
55	137.098	38,563%
50	137.855	38,776%
48	138.180	38,867%



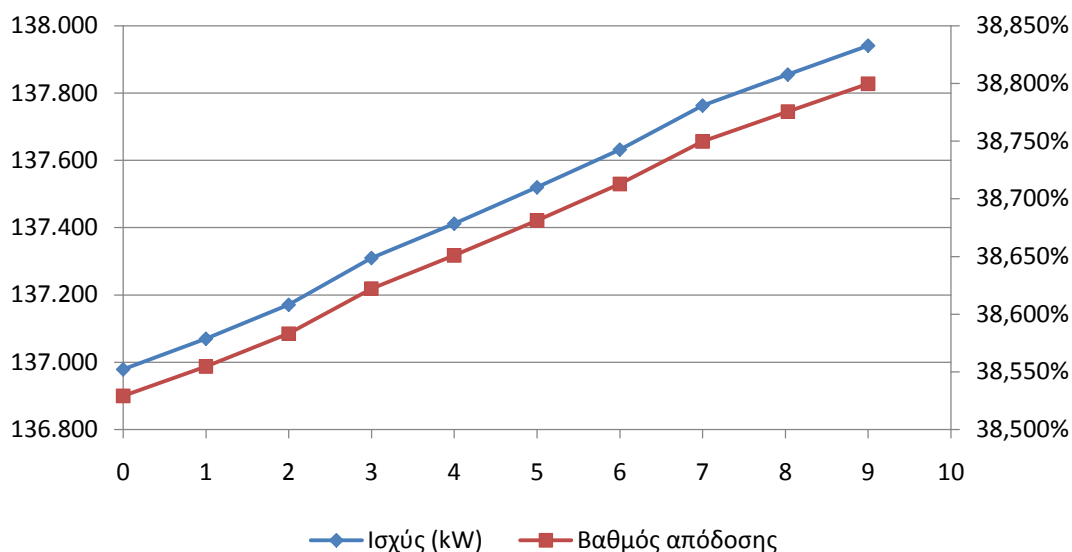
➤ Ποσοστό παρασιτικού αέρα

Παροχή Παρασιτικού (kg/s)	Παροχή LUVO (kg/s)	Ποσοστό παρασιτικού	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
55	80,68	40,54%	134.581	37,855%
50	86,28	36,69%	135.090	37,998%
45	91,88	32,88%	135.562	38,131%
40	97,48	29,10%	136.010	38,257%
35	103,08	25,35%	136.420	38,372%
30	108,68	21,63%	136.811	38,482%
25	114,28	17,95%	137.168	38,582%
20	119,88	14,30%	137.500	38,676%
14	126,80	9,94%	137.855	38,776%
10	131,08	7,09%	138.075	38,837%



➤ 1^{ος} προθερμαντής τροφοδοτικού νερού

Παροχή απομάστευσης (kg/s)	Θερμοκρασία τροφод. νερού μετά τον προθερμαντή (°C)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
9	242,57	137.941	38,800%
8,03	238,97	137.855	38,776%
7	235,08	137.763	38,750%
6	231,24	137.632	38,713%
5	227,31	137.520	38,681%
4	223,32	137.412	38,651%
3	219,23	137.310	38,622%
2	215,08	137.171	38,583%
1	210,84	137.070	38,555%
0	206,51	136.979	38,529%



5.3.5. Οικονομική ανάλυση επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στη παράγραφο 5.3.3, η μονάδα του Αλιβερίου ΙΙΙ στην υπάρχουσα κατάσταση παράγει 137.855 kW ηλεκτρικής ισχύος. Οι δράσεις τις οποίες προτείνει η Δ.Ε.Η. για τη βελτίωση λειτουργίας της μονάδας, μαζί με το κόστος επένδυσης για την υλοποίηση των δράσεων, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 5.3.9.

Δράσεις	Περιγραφή επένδυσης	Ποσό επένδυσης
Εγκατάσταση on line συστήματος παρακολούθησης απόδοσης	Εγκατάσταση συστήματος	400.000 €
	Ρύθμιση και δοκιμές απόδοσης	
Μείωση διαφυγών ατμού - νερού		
Αντικατάσταση Αεροσυμπιεστή Γ.Χ.	Προμήθεια & Εγκατάσταση	60.000 €
Αντικατάσταση προθερμαντή Νο 5	Προμήθεια & Εγκατάσταση	400.000 €
Μόνωση δεξαμενών μαζούτ	Εκτέλεση έργου	100.000 €
Μείωση ιδιοκαταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας		
Μείωση καταναλώσεων θερμότητας	Προμήθεια θερμοκάμερας	60.000 €
	Λειτουργικές πρακτικές - διορθωτικές παρεμβάσεις	
ΣΥΝΟΛΟ:		1.020.000 €

Πίνακας 5.3.9. Περιγραφή επενδύσεων για την υλοποίηση βελτιωτικών δράσεων

Ύστερα από την υλοποίηση των παραπάνω βελτιωτικών δράσεων, σύμφωνα τη αντίστοιχη παράγραφο 5.3.4, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς ανέρχεται στα 142.566 kW. Συνεπώς η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς στο δίκτυο αυξάνεται κατά 4.711 kW. Με βάση τα ανωτέρω, υπολογίζεται ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης για κάθε δράση, ο οποίος παρουσιάζεται στον πίνακα 5.3.10.

Όφελος παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (kW)	4.711
Ώρες λειτουργίας μονάδας ετησίως (hr)	3.600
Επιπρόσθετη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως (kWh)	16.959.600
Τιμή πώλησης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0,10
Κέρδος από βελτιωτικές επενδύσεις (€)	1.695.960 €
Κόστος βελτιωτικών επενδύσεων (€)	1.020.000 €
Χρόνος αποπληρωμής (μήνες)	7,22

Πίνακας 5.3.10. Χρόνος αποπληρωμής επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3.10, θεωρώντας ως μέση τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας $0,10 \text{ €/kWh}$ και 3.600 ώρες λειτουργίας ετησίως (όπως αναφέρει η Δ.Ε.Η.), οι επενδύσεις βελτίωσης της λειτουργίας του σταθμού αποπληρώνονται στον 8^ο μήνα της εφαρμογής τους.

Στη συνέχεια, στον πίνακα 5.3.11, εξετάζεται η εφαρμογή της κάθε δράσης ξεχωριστά σε συμφωνία και με τον πίνακα 5.3.8, ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος αποπληρωμής της κάθε επένδυσης ξεχωριστά. Οι ώρες λειτουργίας της μονάδας, καθώς η τιμή πώλησης της kWh χρησιμοποιούνται με τις παραπάνω τιμές.

Δράσεις	Κόστος Δράσεων	Όφελος ηλεκτρικής ισχύος (kW)	Όφελος ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Χρηματικό όφελος δράσεων	Χρόνος αποπληρωμής (μήνες)
Εγκατάσταση on line συστήματος παρακολούθησης απόδοσης	400.000 €				
Μείωση διαφυγών ατμού - νερού		1.093	3.934.800	393.480 €	
Αντικατάσταση Αεροσυμπιεστή Γ.Χ.	60.000 €	85	306.000	30.600 €	23,53
Αντικατάσταση προθερμαντή No 5	400.000 €	1.611	5.799.600	579.960 €	8,28
Μόνωση δεξαμενών μαζούτ	100.000 €	57	201.600	20.160 €	59,52
Μείωση ιδιοκαταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας		1.504	5.414.400	541.440 €	
Μείωση καταναλώσεων θερμότητας	60.000 €	385	1.386.000	138.600 €	5,19

Πίνακας 5.3.11. Χρόνος αποπληρωμής εκάστοτε επενδύσεων βελτιωτικών δράσεων

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι δράσεις των οποίων το ενεργειακό όφελος είναι μεγαλύτερο, έχουν και την ταχύτερη απόσβεση, όπως η αντικατάσταση του προθερμαντή No 5. Αντιθέτως, η αντικατάσταση του αεροσυμπιεστή και η μόνωση των δεξαμενών μαζούτ δείχνουν να μη συμφέρουν επενδυτικά, καθώς το όφελος το οποίο προσδίδουν σε ηλεκτρική ισχύ είναι αρκετά μικρό. Τέλος, η εγκατάσταση on line συστήματος παρακολούθησης της μονάδας κρίνεται απαραίτητη για τον εκσυγχρονισμό και την καλύτερη παρακολούθηση της λειτουργίας αυτής.

5.4. Μονάδα συνδυασμένου κύκλου Χανίων

5.4.1. Γενική περιγραφή σταθμού ηλεκτροπαραγωγής Χανίων

Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής Χανίων βρίσκεται στην περιοχή της Ξυλοκαμάρας και είναι ένας από τους τρεις σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 355 MW. Ξεκίνησε σαν σταθμός αεριοστρόβιλων για να καλύπτει κυρίως τις αιχμές του φορτίου που παρουσιάζονταν στο νησί κατά τους θερινούς μήνες. Όμως η αλματώδη ανάπτυξη οδήγησε στην κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης στην δεκαετία του 1980 και έτσι αναγκαστικά άρχισε να χρησιμοποιείται σαν σταθμός βάσης. [32]



Εικόνα 5.4.1. Άποψη Α.Η.Σ. Χανίων, [33]

Σήμερα στον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής Χανίων υπάρχουν 8 αεριοστρόβιλοι και ένας ατμοστρόβιλος. Οι έξι αεριοστρόβιλοι είναι ανοικτού κύκλου. Οι δύο αεριοστρόβιλοι (ΑΕΡ6, ΑΕΡ7) μαζί με τον ατμοστρόβιλο (ΑΤΜ1) αποτελούν την μονάδα του συνδυασμένου κύκλου. Παράλληλα πρέπει να αναφέρουμε ότι όλες οι μονάδες ως καύσιμο χρησιμοποιούν DIESEL και η τροφοδοσία του σταθμού γίνεται μέσω του ειδικά διαμορφωμένου αγωγού από το λιμάνι της Σούδας των Χανίων. [32]

ΜΟΝΑΔΕΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΘΕΡΟΥΣ (MW)	ΤΙΜΕΣ Μ/Σ ΚΑΘΕ ΜΟΝΑΔΑΣ (MVA)	ΤΑΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ (kV)
ΑΕΡ 1	16,2	11	21,3	6,3
ΑΕΡ 4	24,0	17	31,5	11,0
ΑΕΡ 5	30,0	28	40,3	11,0
ΑΕΡ 6	45,5	35	36-52	11,5
ΑΕΡ 7	45,5	35	36-52	11,5
ΑΤΜ 1	42,4	36	36-52	11,5
ΑΕΡ 11	59,0	52	78	11,5
ΑΕΡ 12	59,0	52	78	11,5
ΑΕΡ 13	33,4	28	78	11,5
Σύνολο:	355,0	294		

Πίνακας 5.4.1. Μονάδες παραγωγής σταθμού Χανίων, [32]

Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής Χανίων αποτελεί τον πρώτο σταθμό παραγωγής της Δ.Ε.Η., στον οποίο απονεμήθηκε το πιστοποιητικό κατά ISO 14001 (4 Οκτωβρίου 2006) για το σύστημα της περιβαλλοντικής του διαχείρισης. [3]

Το διοικητικό συμβούλιο της Δ.Ε.Η. Α.Ε. κατά τη συνεδρίασή του την 13^η Νοεμβρίου του 2007, αποφάσισε οι μονάδες του σταθμού των Χανίων να μετατραπούν σε μονάδες κατάλληλες για καύση φυσικού αερίου και δύο αεριοστρόβιλοι να μετατραπούν σε μια δεύτερη μονάδα συνδυασμένου κύκλου. [3]

Αναλυτικότερα, με τις εργασίες ανάπτυξης του σταθμού υδροποιημένου φυσικού αερίου, η Δ.Ε.Σ.Φ.Α. Α.Ε. θα προχωρήσει στην κατασκευή δικτύου μεταφοράς φυσικού αερίου που θα συνδέσει την Κορακιά με το Σταθμό της Ξυλοκαμάρας στα Χανιά. Με προοπτική ολοκλήρωσης του εν λόγω δικτύου το έτος 2012, η Δ.Ε.Η. θα μετατρέψει την υφιστάμενη Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου Χανίων (132 MW) και τρεις αεριοστρόβιλους του Σταθμού της Ξυλοκαμάρας (ισχύος 59 MW, 59 MW και 28 MW) για καύση φυσικού αερίου. Παράλληλα οι δύο αεριοστρόβιλοι των 59 MW θα μετατραπούν σε Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου, ισχύος 180 MW, με την προσθήκη δύο λεβήτων ανάκτησης θερμότητας και ενός ατμοστρόβιλου. Η ολοκλήρωση των μετατροπών των Μονάδων της Ξυλοκαμάρας θα επιτρέψει την απόσυρση τριών αεριοστρόβιλων του Σταθμού συνολικής ισχύος 62 MW (14 MW, 20 MW και 28 MW). [17]

5.4.2. Μοντελοποίηση μονάδας συνδυασμένου κύκλου Χανίων σε συνθήκες σχεδιασμού

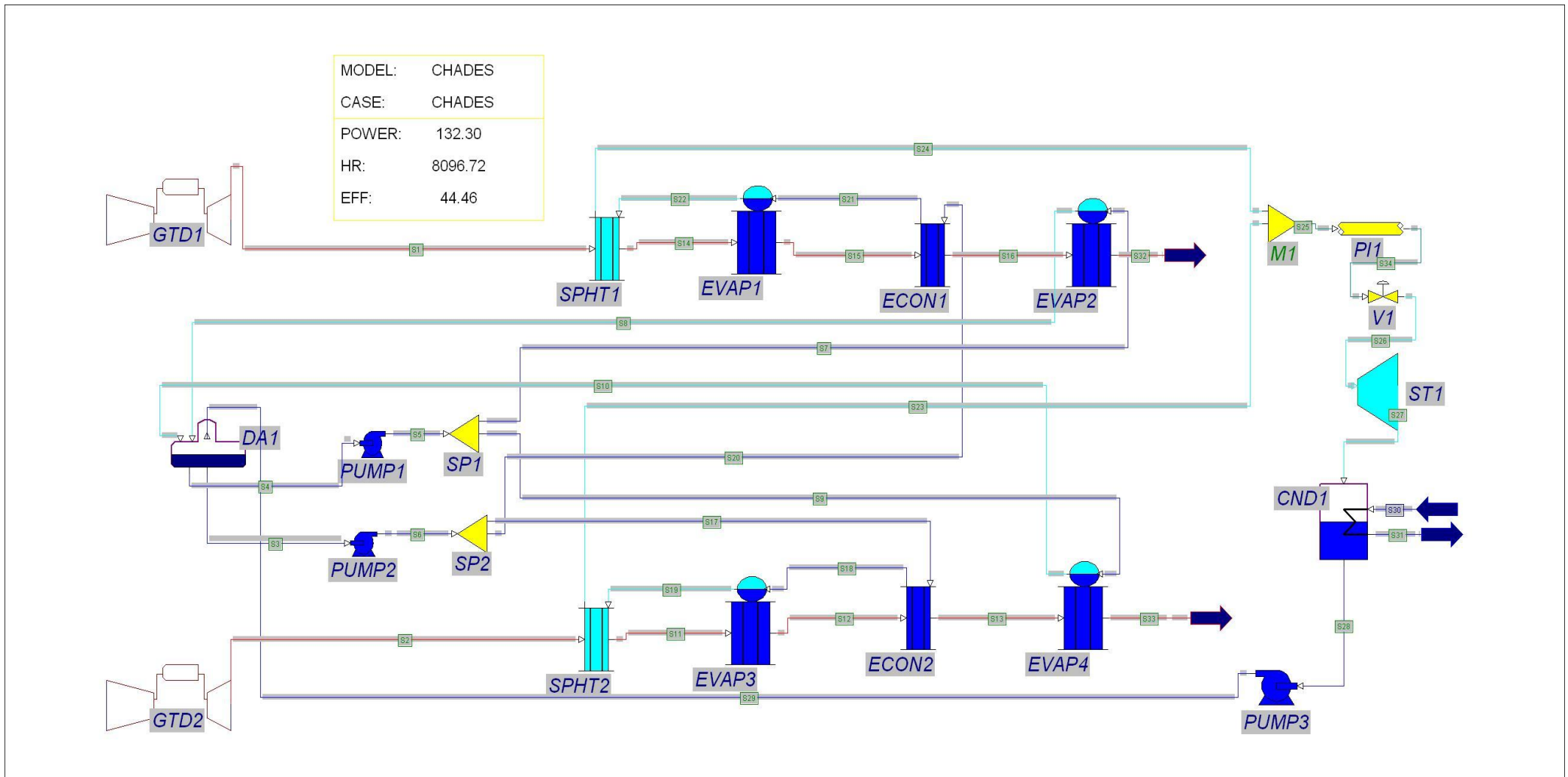
Η μονάδα συνδυασμένου κύκλου του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής Χανίων αποτελείται από δύο όμοιους αεριοστρόβιλους (τύπου ABB GT 8C, [http://www.precooler.com/case2.htm]) και ένα ατμοστρόβιλο, ο οποίος

τροφοδοτείται με υπέρθερμο ατμό, παραγόμενο στο λέβητα ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια των αεριοστρόβιλων. Η κατασκευή είναι της εταιρίας ABB, ενώ το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι Oil #2, δηλαδή πετρέλαιο Diesel με κατώτερη θερμογόνο δύναμη 43.000 kJ/kg .

Για τη μοντελοποίηση της μονάδας συνδυασμένου κύκλου των Χανίων μέσω του υπολογιστικού προγράμματος Gate Cycle χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός που αναλύεται στον πίνακα 5.4.2, ενώ στην εικόνα 5.4.2 φαίνεται ο μοντελοποιημένος σταθμός στο πρόγραμμα Gate Cycle.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΟΛΙΑ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Αεριοστρόβιλος	GTD1, GTD2	Αποτελείται από τον συμπιεστή, τον θάλαμο καύσης και τον στρόβιλο των καυσαερίων
Ατμοστρόβιλος	ST1	
Ατμοποιητής Χ.Π.	EVAP2, EVAP4	Ατμοποιεί νερό χαμηλής πίεσης για τις ανάγκες του απαερωτή
Οικονομητήρας	ECON1, ECON2	Προθερμαίνει το νερό υψηλής πίεσης προτού ατμοποιηθεί
Ατμοποιητής Υ.Π.	EVAP1, EVAP3	Ατμοποιεί το νερό υψηλής πίεσης, που έρχεται από τον οικονομητή
Υπερθερμαντής	SPHT1, SPHT2	Υπερθερμαίνει τον ατμό υψηλής πίεσης, που έρχεται από τον ατμοποιητή Υ.Π., για τροφοδοσία του ατμοστρόβιλου
Απαερωτής	DA1	
Συμπυκνωτής (Ψυγείο)	CND1	
Αντλίες	PUMP1	Αντλία τροφοδοτικού νερού Χαμηλής Πίεσης
	PUMP2	Αντλία τροφοδοτικού νερού Υψηλής Πίεσης
	PUMP3	Αντλία συμπυκνώματος
Βαλβίδα	V1	Για τη ρύθμιση της πίεσης πριν τον ατμοστρόβιλο
Απώλειες σωληνώσεων	PI1	Μοντελοποιείται η συνολική πτώση πίεσης και θερμοκρασίας του εργαζόμενου νερού - ατμού
Διακλαδώσεις	SP1	Χωρίζει το τροφοδοτικό νερό Χαμηλής Πίεσης για να οδηγηθεί στους δύο ατμοποιητές Χ.Π.
	SP2	Χωρίζει το τροφοδοτικό νερό Υψηλής Πίεσης για να οδηγηθεί στους δύο οικονομητήρες
Μίκτης	M1	Ανάμιξη των δύο ρευμάτων υπέρθερμου ατμού, όμοιων θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών, για την εισαγωγή στον ατμοστρόβιλο

Πίνακας 5.4.2. Μοντελοποιημένος εξοπλισμός στο Gate Cycle



Εικόνα 5.4.2. Μοντελοποίηση μονάδας συνδυασμένου κύκλου Χαλίων στο Gate Cycle

Αεριοστρόβιλος

Οι αεριοστρόβιλοι μοντελοποιήθηκαν μέσω του εξοπλισμού *Data Gas Turbine*. Για τη ρύθμιση των αεριοστρόβιλων, επιλέχθηκε ως μέθοδος υπολογισμού (*Calculation Method*) ο προσδιορισμός του θερμικού ισοζυγίου (*Specify Heatrate*). Ως σταθερά εισήχθησαν τα παρακάτω γνωστά μεγέθη, από την τεχνική περιγραφή του σταθμού:

- Καθαρή Ηλεκτρική Ισχύς: 44,95 MW_e (*Engine Net Power*)
- Παροχή καυσίμου: 3,46 kg/s (*Fuel Flow*)
- Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων: 532°C (*Exhaust Temperature*)
- Κατώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμου: 43.000 kJ/kg (*Fuel LHV*)

Για τη σύγκλιση του θερμικού ισοζυγίου του αεριοστρόβιλου, σύμφωνα με τα παραπάνω μεγέθη, υπολογίστηκε από το πρόγραμμα η παροχή καυσαερίων στα 182,11 kg/s (*Exhaust Flow Rate*). Τέλος, ρυθμίζεται ο αναρροφώμενος αέρας λειτουργίας του αεριοστρόβιλου σε θερμοκρασία 15°C και υγρασία 60%.

Λέβητας ανάκτησης θερμότητας

Τα καυσαέρια που εξέρχονται από τους δύο αεριοστρόβιλους οδηγούνται αντίστοιχα σε δύο λέβητες ανάκτησης θερμότητας (Λ.Α.Θ.). Οι επιφάνειες συναλλαγής που περιλαμβάνονται σε κάθε ένα Λ.Α.Θ. φαίνονται στην εικόνα 5.4.3., όπου τα κόκκινα βέλη παριστάνουν το καυσαέριο, τα μπλε βέλη το νερό και τα γαλάζια βέλη τον ατμό.



Εικόνα 5.4.3. Επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας του Λ.Α.Θ.

Αναλυτικότερα, οι επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα είναι οι εξής, ξεκινώντας από την τελευταία:

- Ατμοποιητής νερού Χαμηλής Πίεσης (Χ.Π.): Αποτελεί την τελευταία επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας με τα καυσαέρια πριν την έξοδο τους στο περιβάλλον. Τροφοδοτείται με νερό από την αντλία τροφοδοτικού νερού Χ.Π. (~3 bar) και

παράγει τον απαραίτητο ατμό για τη λειτουργία του απαερωτή, ο οποίος λειτουργεί σε πίεση 2,7 bar.

- Οικονομητήρας νερού Υψηλής Πίεσης (Υ.Π.): Προθερμαίνει το τροφοδοτικό νερό από την αντλία Υ.Π. (~40 bar), από τους 130°C στους 250°C.
- Ατμοποιητής νερού Υψηλής Πίεσης (Υ.Π.): Ατμοποιεί το νερό υψηλής πίεσης ερχόμενο από τον οικονομητή, το οποίο προορίζεται για τον ατμοστροβίλο.
- Υπερθερμαντής ατμού Υψηλής Πίεσης (Υ.Π.): Παράγει τον απαραίτητο υπέρθερμο ατμό για τη λειτουργία του ατμοστροβίλου. Υπερθερμαίνει τον ατμό από τον ατμοποιητή Υ.Π., από τη θερμοκρασία των 250°C μέχρι τους 490°C.

Ατμοστροβίλος

Ο ατμοστροβίλος τροφοδοτείται με υπέρθερμο ατμό παροχής $44 \frac{kg}{s}$, από τα δύο ρεύματα ατμού που εξέρχονται αντίστοιχα από τους δύο Λ.Α.Θ.. Ο εξερχόμενος από τον Λ.Α.Θ. υπέρθερμος ατμός έχει θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά 40 bar και 490°C, ενώ ο ατμοστροβίλος, σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή του σταθμού, τροφοδοτείται με υπέρθερμο ατμό 38,4 bar και 487°C. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο εξοπλισμός απωλειών σωληνώσεων (*Pipe Loss – P11*), ώστε να προσαρμοστούν τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ατμού. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μία βαλβίδα (*Valve – V1*) για την τελική ρύθμιση της πίεσης.

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του ατμοστροβίλου εισάγεται 89,5% στο μενού *Isentropic Expansion Efficiency*, ώστε ο ατμοστροβίλος να παράγει ηλεκτρική ισχύ 44,4 MW_e, τιμή γνωστή από την τεχνική περιγραφή της μονάδας.

Ο ατμός εκτονώνεται στον ατμοστροβίλο μέχρι τελικής πίεσης 125 mbar και στη συνέχεια οδηγείται στον συμπυκνωτή (ψυγείο), το οποίο λειτουργεί στην ίδια πίεση. Η αντλία συμπυκνώματος ανεβάζει την πίεση του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το ψυγείο στα 3 bar, ώστε να οδηγηθεί στο απαερωτή.

Βαθμοί Απόδοσης

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς των αεριοστροβίλων είναι ίση με 89,9 MW_e (44,95 MW_e έκαστος) και του ατμοστροβίλου 44,4 MW_e. Συνεπώς, η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της μονάδας είναι ίση με 134,3 MW_e.

Η προσφερόμενη ισχύς στη μονάδα προέρχεται από το καύσιμο στους θαλάμους καύσης των δύο αεριοστροβίλων και έχει τιμή $2 \cdot 3,46 \frac{kg}{s} \cdot 43.000 \frac{kJ}{kg} = 297.560 kW$. Συνεπώς, ο μικτός βαθμός απόδοσης της μονάδας υπολογίζεται στη συνέχεια:

$$\eta_{Gross} = \frac{\text{μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \frac{134.300}{297.560} = 45,13\%$$

Σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή της μονάδας, η ιδιοκατανάλωση του σταθμού είναι 2.000 kW_e, συνεπώς η καθαρή ηλεκτρική ισχύς (διαθέσιμη στο δίκτυο) είναι 132.300 kW_e. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο καθαρός βαθμός απόδοσης της μονάδας:

$$\eta_{Net} = \frac{\text{καθαρή ηλεκτρική ισχύς}}{\text{προσφερόμενη ισχύς καυσίμου}} = \frac{132.300}{297.560} = 44,46\%$$

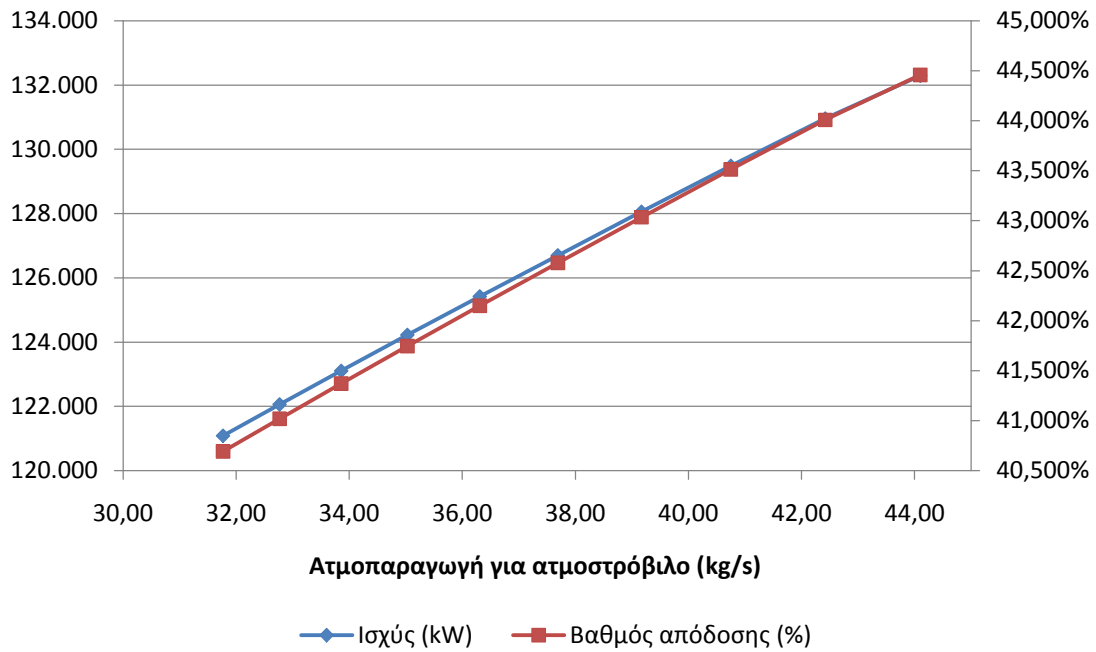
Συνοψίζοντας, η μονάδα συνδυασμένου κύκλου των Χανίων, παράγει συνολικά 134,3 MW_e, από τα οποία διαθέτει στο δίκτυο τα 132,3 MW_e με βαθμό απόδοσης 44,46%.

5.4.3. Παραμετρικές καμπύλες μονάδας συνδυασμένου κύκλου Χανίων

Οι παραμετρικές καμπύλες λειτουργίας του σταθμού που παρατίθενται στη συνέχεια, αφορούν τη λειτουργία του σταθμού υπό διαφορετική παροχή ατμού στον ατμοστρόβιλο και υπό διαφορετική πίεση λειτουργίας του συμπυκνωτή.

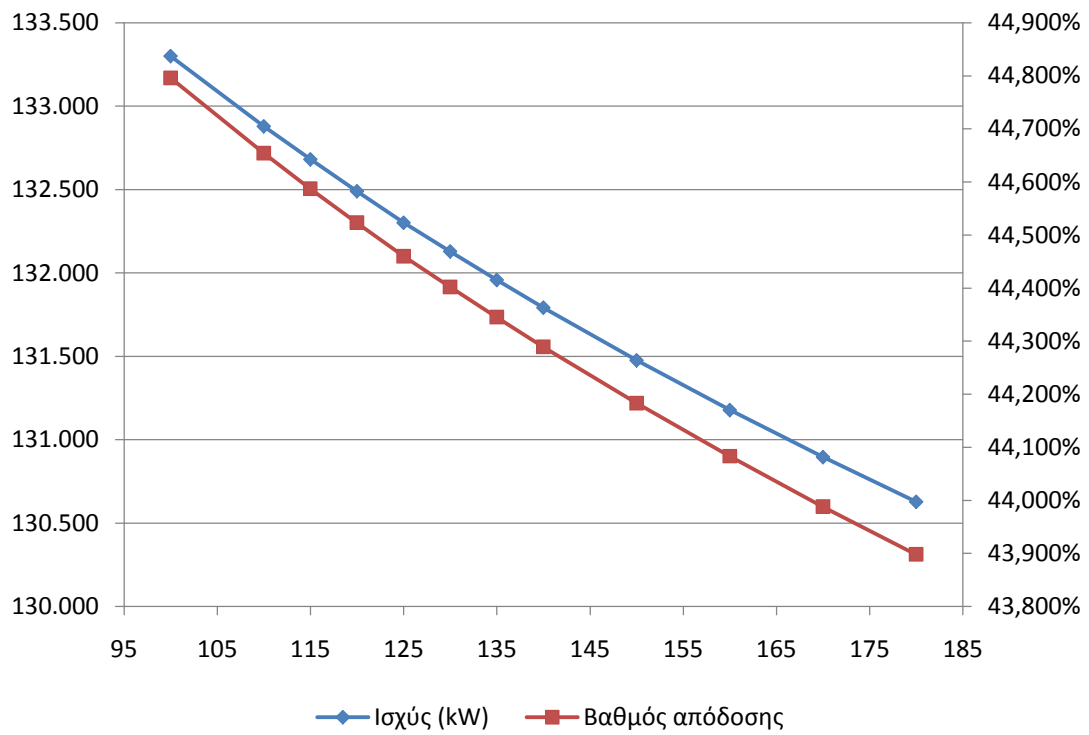
Η πτώση της παροχής του υπέρθερμου ατμού, μοντελοποιείται μέσω των επικαθίσεων (μάκα) στους ατμοποιητές νερού Υ.Π. και Χ.Π., στο μενού *Losses* στην επιλογή *Fouling Factor*. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών του υπολογιστικού προγράμματος Gate Cycle, ενώ σημειώνεται πως με πράσινο χρώμα δείχνεται η κατάσταση λειτουργίας υπό κανονικές συνθήκες:

Fouling factor ($\frac{m^2 \cdot K \cdot sec}{kJ}$)	Ατμοπαραγωγή για απαερωτή (Χ.Π.) - (kg/s)	Ατμοπαραγωγή ατμοστρόβιλου (Υ.Π.) - (kg/s)	Θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού (°C)	Πίεση ψυγείου (mbar)	Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (°C)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης (%)
0	6,80	44,10	490,00	125	179,43	132.297	44,459%
5	6,56	42,42	493,49	119	192,08	130.958	44,009%
10	6,38	40,75	496,91	113	204,65	129.486	43,514%
15	6,22	39,17	500,10	107	216,70	128.058	43,035%
20	6,06	37,69	503,01	102	228,07	126.701	42,578%
25	5,88	36,31	505,64	98	238,67	125.423	42,149%
30	5,72	35,03	507,98	94	248,53	124.226	41,747%
35	5,56	33,86	510,08	90	257,66	123.107	41,371%
40	5,40	32,77	511,97	87	266,14	122.063	41,020%
45	5,22	31,77	513,60	84	274,01	121.088	40,692%



Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας και το διάγραμμα των παραμετρικών δοκιμών διαφορετικής πίεσης λειτουργίας του συμπυκνωτή:

Κενό ψυγείου (mbar)	Ισχύς (kW)	Βαθμός απόδοσης
180	130.627	43,898%
170	130.895	43,988%
160	131.177	44,083%
150	131.475	44,183%
140	131.791	44,289%
135	131.957	44,345%
130	132.128	44,402%
125	132.300	44,460%
120	132.489	44,523%
115	132.680	44,587%
110	132.878	44,654%
100	133.299	44,796%



Επίλογος – Συμπεράσματα

Το κυριότερο συμπέρασμα, το οποίο προκύπτει από τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, είναι πως η παραγωγή ηλεκτρισμού παγκοσμίως είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ μικρή συνεισφορά παρουσιάζουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ειδικότερα στην Ελλάδα, ο λιγνίτης επικρατεί στην ηλεκτροπαραγωγή σήμερα. Αντιθέτως, ο σχεδιασμός της Ελλάδας για το μέλλον βασίζεται πλήρως στο φυσικό αέριο, ένα εισαγόμενο καύσιμο, για το οποίο πρέπει να διασφαλίζεται η αδιάκοπη παροχή του, αλλά και η σταθερότητα στην τιμή, ώστε να μην παρουσιαστούν προβλήματα στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

Μια επίσης σημαντική διαπίστωση, είναι η παλαιότητα της πλειοψηφίας των μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ελλάδα, η οποία σε συνδυασμό με τον φτωχό (σε θερμογόνο δύναμη) λιγνίτη της χώρας, οδηγούν σε χαμηλούς βαθμούς απόδοσης λειτουργίας των μονάδων. Ακριβώς σε αυτό το σημείο εστιάζει η συγκεκριμένη μελέτη, της οποίας τα συμπεράσματα συνοψίζονται στη συνέχεια για τον κάθε σταθμό ξεχωριστά.

Ξεκινώντας με την τρίτη μονάδα του Α.Η.Σ. Καρδιάς, παρατηρείται η σημαντικά μειωμένη καθαρή παραγωγή της μονάδας ($250,0 \text{ MW}_e$) σε σχέση με τον σχεδιασμό ($273,3 \text{ MW}_e$), της τάξης των $23,3 \text{ MW}_e$. Εφαρμόζοντας τις προτεινόμενες από τη Δ.Ε.Η. δράσεις, η παραγόμενη ενέργεια αυξάνει κατά $12,4 \text{ MW}_e$, το οποίο συνεπάγεται καθαρή ενεργειακή παραγωγή $262,4 \text{ MW}_e$. Το κόστος των βελτιωτικών επενδύσεων (δράσεις) είναι $3.440.000 \text{ €}$, τα οποία αποπληρώνονται σε διάστημα 5 μηνών, ενώ οι πλέον αποδοτικές δράσεις είναι η μείωση του παρασιτικού αέρα της εστίας, η μείωση της παροχής ψεκασμού του ανάθερμου ατμού και η βελτίωση της ποιότητας του λιγνίτη.

Συνεχίζοντας με την τρίτη μονάδα του Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης, για την οποία αξίζει να σημειωθεί ο εκ σχεδιασμού αρκετά χαμηλός βαθμός απόδοσης λόγω του πολύ φτωχού λιγνίτη της περιοχής, η καθαρή ενεργειακή παραγωγή του σχεδιασμού της μονάδας είναι $274,3 \text{ MW}_e$, ενώ στην υπάρχουσα κατάσταση η ενεργειακή παραγωγή έχει μειωθεί κατά $23,2 \text{ MW}_e$ ($251,1 \text{ MW}_e$). Μοντελοποιώντας τις προτεινόμενες δράσεις της Δ.Ε.Η. η ενεργειακή παραγωγή της Μεγαλόπολης III φτάνει τα $260,4 \text{ MW}_e$, με αποδοτικότερη δράση αυτή της μείωσης του παρασιτικού αέρα. Για την επιπλέον παραγωγή των $9,3 \text{ MW}_e$, απαιτείται επένδυση της τάξης των $6.022.000 \text{ €}$, τα οποία αποπληρώνονται σε 11 μήνες.

Στη συνέχεια εξετάσθηκε η τρίτη μονάδα του Α.Η.Σ. Αλιβερίου, η διαφορά της οποίας από τις δύο προηγούμενες είναι πως δεν αποτελεί σταθμό βάσης και χρησιμοποιεί ως καύσιμο μαζούτ. Η καθαρή ενεργειακή παραγωγή αυτής της

μονάδας, σύμφωνα με τον σχεδιασμό είναι 144,3 MW_e. Κατά τη σημερινή λειτουργία της μονάδας παράγονται 137,9 MW_e, ενώ εφαρμόζοντας τις βελτιωτικές δράσεις της Δ.Ε.Η. η παραγωγή θα φτάσει τα 142,6 MW_e. Το κόστος για την παραγωγή των επιπλέον 4,7 MW_e είναι ίσο με 1.020.000 € και αποπληρώνεται σε 8 μήνες. Σημαντικότερες δράσεις βελτίωσης της λειτουργίας του Αλιβερίου III φαίνονται η αντικατάσταση του προθερμαντή τροφοδοτικού νερού Νο 5, η μείωση των διαφυγών ατμού και η μείωση των ιδιοκαταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, για τη μονάδα των Χανίων, η οποία διαφέρει πλήρως των προηγούμενων, καθώς είναι συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο Diesel, δεν υπήρχε διαθέσιμη αναφορά της Δ.Ε.Η. για την υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται παραμετρικές καμπύλες λειτουργίας των μεγεθών της παροχής ατμού του ατμοστροβίλου και της πίεσης εξόδου του συμπυκνωτή. Η πλέον αξιοσημείωτη πληροφορία που αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή όλης της Κρήτης, είναι ο σχεδιασμός της πλήρους τροφοδοσίας του νησιού με φυσικό αέριο, που προβλέπεται να ολοκληρωθεί μέχρι το 2016. Η Κρήτη θα τροφοδοτείται με υγροποιημένο φυσικό αέριο από τον σταθμό που κατασκευάζεται στην περιοχή της Κορακιάς.

Ολοκληρώνοντας, το γενικό συμπέρασμα το οποίο προκύπτει είναι η αναγκαία αντικατάσταση των παλαιών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής της Δ.Ε.Η., με νέες, σύγχρονες, λιγότερο ρυπογόνες μονάδες, οι οποίες θα κατασκευαστούν σύμφωνα με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (Best Available Techniques / BAT). Αντίστοιχα, για τις πιο πρόσφατα κατασκευασμένες μονάδες απαιτούνται επενδύσεις με σκοπό την βελτίωση της λειτουργίας τους ή/και εφαρμογή βελτιωμένων λειτουργικών πρακτικών, ώστε να φτάσουν σε ικανοποιητικά επίπεδα λειτουργίας, με βαθμούς απόδοσης κοντά στους αντίστοιχους του σχεδιασμού της μονάδας, με τη λιγότερη δυνατή επιβάρυνση στο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://sfrang.com/historia/selida604.htm#1>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_power_industry
3. www.dei.gr
4. <http://www.allaboutenergy.gr/LigniteMakedonia.html>
5. Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency/IEA), www.iea.org
6. «Οικονομική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων», Άγισ Μ. Παπαδόπουλος, Θεσσαλονίκη 2002 (<http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/EAoES.pdf>)
7. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, www.rae.gr
8. Παρουσίαση «Επενδύσεις εκσυγχρονισμού και επέκτασης του παραγωγικού δυναμικού της ΔΕΗ», Αβραάμ Μιζάν, Γενικός Διευθυντής Δ.Ε.Η, Αθήνα 18-4-2007
9. Εταιρικό έντυπο 2008 Δ.Ε.Η., (www.dei.gr)
10. «Ανάλυση της πιο σημαντικής εμπορικής, οικονομικής και εξαγωγικής δραστηριότητας του νομού Κοζάνης και οι κοινωνικό-οικονομικές επιδράσεις», Πτυχιακή εργασία, Σοφία Δημητριάδου, Καστοριά, Απρίλιος 2005
11. Μ. Φούντη, «Θεωρία καύσης και συστήματα καύσης», Αθήνα, 2005
12. Σ. Στούρνας, Ε. Λόης, Φ. Ζανίκος: «Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών», Αθήνα, 2007
13. «Χαρακτηριστικά ποιότητας ανάφλεξης και σύστασης ναυτιλιακών Diesel», Διπλωματική εργασία, Κοντός Γεώργιος
14. Δημόσια Επιχείρηση αερίου, ΔΕΠΑ, www.depa.gr
15. Κ. Ι. Γιμουχόπουλος, «Εγχειρίδιον τεχνολογίας πετροχημικών», 5^η έκδοση, Αθήνα
16. Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου, ΔΕΣΦΑ, www.desfa.gr
17. Υπουργείο Ανάπτυξης, ΥΠΑΝ, www.ypan.gr
18. Διαλέξεις στα πλαίσια του μαθήματος, «Ενεργειακές Πρώτες Ύλες», Αγγελική Λεμονίδου, (http://www.cheng.auth.gr/cheng_gr/curic/lectures/energeiakes/Kefalaio5.pdf)
19. Κ. Β. Καβουρίδη, Κ. Χαλούδο, Μ. Λεοντίδη, Χ. Ρούμπο, «Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση – Προοπτικές», Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας, ΤΕΕ, Αθήνα, 9-10 Ιουνίου, 2005

20. Π. Μπασινάς, Γ. Σκόδρας, Π. Γραμμέλης, Σ. Σπυράκης, Μ. Καραμπίνης, Γ. Παντολέοντος, Ε. Κακαράς, Γ. Σακελλαρόπουλος, «Ανάπτυξη τεχνολογίας για την παραγωγή καθαρών στερών καυσίμων από λιγνίτες και απόβλητα», Πτολεμαΐδα, Ιανουάριος 17, 2008
21. European Association for Coal and Lignite, www.euracoal.be
22. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτών πρώτων υλών, Ερευνητική ομάδα ενεργειακών πρώτων υλών, (<http://lithos.geology.upatras.gr/epy/index.htm>)
23. Εμμανουήλ Κ. Κακαράς, «Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί», Β' έκδοση, Αθήνα, Ιανουάριος 2003
24. Κ. Μαθιουδάκης, «Λειτουργία αεριοστρόβιλων και ατμοστροβίλων», Αθήνα, 2007
25. Ν. Παπαγεωργίου, «Ατμοπαραγωγοί Ι», έκδοση 2^η, Αθήνα, 1991
26. Παρουσίαση «Βελτίωση Βαθμού απόδοσης συμβατικών μονάδων», Γ. Τζολάκης, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 3 Νοεμβρίου 2007
27. Ενημερωτικό έντυπο Α.Η.Σ. Καρδιάς, Δ.Ε.Η.
28. Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας παράδοσης μονάδας Α.Η.Σ. Καρδιάς III
29. Ενημερωτικό έντυπο Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης, Δ.Ε.Η.
30. Ενημερωτικό σημείωμα Α.Η.Σ. Αλιβερίου, Δ.Ε.Η., 25-4-2007
31. Παρουσίαση Α.Η.Σ. Αλιβερίου, Δ.Ε.Η., Ιούνιος 2008
32. Περιγραφή σταθμού Ξυλοκαμάρας Χανίων, Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Κρήτης, (http://eed.stef.teicrete.gr/labs/epsl/paragogi_xania.htm)
33. ΜΕΤΚΑ, www.metka.gr.