

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1285**

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΓΕΡΑΦΕΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΜΙΜΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

ΠΑΤΡΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη σύγχρονη εποχή η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα αγαθά. Είναι γεγονός ότι οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί κονιορτοποιημένου καυσίμου αποτελούν μονάδες βάσης τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε εθνικό επίπεδο. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα γίνει μια εκτενής περιγραφή των λειτουργιών και των τμημάτων ενός ΑΗΣ και συγκεκριμένα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που εδρεύει στο νομό Κοζάνης, ισχύος 1586,5 MW ο οποίος αποτελεί το μεγαλύτερο σταθμό της Ελλάδας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και εισηγητή της παρούσας εργασίας, κ. Ευάγγελο Μίμο για το χρόνο που αφιέρωσε και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, καθώς επίσης και τον κ. Νεκτάριο Πολωνίδη, τομεάρχη στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που μου προσέφερε πληροφορίες και σημαντικά αρχεία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ατμοηλεκτρικός σταθμός (ΑΗΣ) ονομάζεται η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης του ατμού. Η βασική πρώτη ύλη ενός ΑΗΣ είναι είτε το κάρβουνο είτε ο λιγνίτης ή η πυρηνική ενέργεια. Η βασική αρχή λειτουργίας του ΑΗΣ είναι η εξής : η μετατροπή είτε της χημικής ενέργειας απ την καύση λιγνίτη είτε της πυρηνικής σε θερμική. Η θερμική ενέργεια μετατρέπεται το νερό σε ατμό υπό πίεση. Στη συνέχεια η κινητική ενέργεια του ατμού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του δρομέα της γεννήτριας μέσω του στροβίλου και μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω της σύγχρονης γεννήτριας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μεταφέρεται μέσω υποσταθμών και γραμμών μεταφοράς στους καταναλωτές.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα γίνει μια εκτενής περιγραφή των λειτουργιών και των τμημάτων ενός ΑΗΣ και συγκεκριμένα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που εδρεύει στο νομό Κοζάνης, ισχύος 1586,5 MW. Στο 1^ο κεφάλαιο θα γίνει αρχικά μια σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του ΑΗΣ από την αποκομιδή λιγνίτη μέχρι τους Μ/Σ ανύψωσης τάσης αναλύοντας εκτενέστερα τα επιμέρους τμήματα όπως το κύκλωμα νερού, το κύκλωμα καυσαερίων, τους πύργους ψύξης, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και το σύστημα στροβίλου-γεννήτριας με τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη και τις επιμέρους λειτουργίες όπως η διαδικασία ελέγχου στροφών, οι προστασίες και η διέγερση των γεννητριών.

Στο 2^ο κεφάλαιο θα περιγραφούν οι διαδικασίες εκκίνησης και παύσης λειτουργίας μιας μονάδας. Τέλος, στο 3^ο κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των βοηθητικών κυκλωμάτων που απαρτίζουν το σύνολο του ΑΗΣ όπως είναι οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, τα συστήματα απεικόνισης και ελέγχου των λειτουργιών του ΑΗΣ και τα συστήματα τηλεθέρμανσης και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Θα αναλυθεί ο βαθμός απόδοσης του ΑΗΣ και οι τρόποι βελτίωσής του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

σελ.

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	II
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	III
<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	IV
<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Κύρια παραγωγική διαδικασία ΑΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ	9
1.1 ΛΙΓΝΙΤΗΣ	12
Δημιουργία των λιγνιτών	12
Αποθέματα λιγνίτη	12
Εξόρυξη του λιγνίτη	13
Χρήση του λιγνίτη στην παραγωγή ενέργειας	14
1.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΝΕΡΟΥ/ΑΤΜΟΥ	14
Λέβητας	15
Προθερμαντήρες Νερού	18
Τροφοδοτική Δεξαμενή	18
Κύριο Ψυγείο	18
Ατμοστρόβιλος	19
Κύκλος Νερού/Ατμού	21
1.3 ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ	23
1.4 ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ	26
LUVO	26
Ανεμιστήρες Κατάθλιψης και Ελκυσμού	27
1.5 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ	29
Γενικά	29
Παροχή Υψηλής Τάσης	32
Βοηθητικός Εξοπλισμός	32
1.6 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	33
Γενική δομή των σύγχρονων γεννητριών	33
Γεννήτριες ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου	34
Κυκλώματα διεγερσης γεννητριών	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Λειτουργία μονάδων

2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΗΨΗΣ / ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	39
2.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	41
2.3 ΑΝΑΛΗΨΗ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	44
2.4 ΣΒΕΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Δευτερεύουσες λειτουργίες

3.1 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΗΣ.....	50
Βαθμός απόδοσης λέβητα.....	52
Προτάσεις αντιμετώπισης και ελάττωσης των απωλειών.....	54
Επιπλέον έλεγχος και βελτιστοποίηση της παραγωγής ακαύστων.....	55
Βαθμός απόδοσης στροβίλου.....	56
Ποιότητα λιγνίτη.....	57
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	58
Γενικά.....	58
Πράκτορες Λογισμικού.....	58
Η πλατφόρμα παρακολούθησης λειτουργίας Metso-DNA στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.....	60
Η ροή της πληροφορίας στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.....	65
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	66
Τηλεθέρμανση.....	66
Επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	67
3.4 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	68
<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>71</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	<u>72</u>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 1881 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Godalming της Αγγλίας, μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ, με ισχύ 746 kW. Η πόλη αυτή απέκτησε και τον πρώτο δημόσιο ηλεκτρικό φωτισμό, 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 λειτουργούσε μόνο σε εποχή κανονικών βροχοπτώσεων, γιατί δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί επαρκώς η ροή νερού στο ποτάμι που διέτρεχε την πόλη. Στη Γερμανία εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Στουτγάρδη το έτος 1882 και ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει μέχρι 30 λάμπες πυρακτώσεως. Το ίδιο έτος άρχισαν να φωτίζουν δρόμους του Βερολίνου ηλεκτρικές λάμπες χαμηλής ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνταν από γειτονικές μονάδες παραγωγής. Το έτος 1885 εγκαταστάθηκε στο Βερολίνο ο πρώτος μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είχε από την πόλη την άδεια να τροφοδοτεί καταναλωτές σε ακτίνα μέχρι 800 μέτρα.

Το έτος 1885 ο William Stanley υπάλληλος της εταιρίας Westinghouse, κατασκεύασε ένα *επαγωγικό πηνίο* ή αλλιώς ένα μετασχηματιστή ισχύος, με τον οποίο μετέβαλε κατ' επιθυμία την εναλλασσόμενη τάση. Με την αξιοποίηση του μετασχηματιστή επικράτησε οριστικά το εναλλασσόμενο ρεύμα έναντι του συνεχούς. Την ίδια εποχή ο Ιταλός Galileo Ferraris πραγματοποιούσε πειράματα με ανεξάρτητα εναλλασσόμενα ρεύματα. Στην πορεία αυτών των πειραμάτων ανακάλυψε ότι δύο εναλλασσόμενα ρεύματα ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής αρχικής φάσης δημιουργούσαν στο χώρο ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Παράλληλα με τον Ferraris πραγματοποιούσε όμοια πειράματα, αλλά με 3 εναλλασσόμενα ρεύματα και ο βοηθός του Edison, ο σερβικής καταγωγής Nicola Tesla. Το έτος 1886 ο George Westinghouse εγκαθιστά μία μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενη τάση στο Barrington της Μασαχουσέτης.

Το έτος 1886 κατασκευάστηκε στη Γερμανία μια τριφασική γραμμή που τροφοδοτείτο από 3 μονοφασικούς κινητήρες και ένα χρόνο μετά ο Friedrich August Haselwander κατασκεύασε την πρώτη τριφασική γεννήτρια (*σύγχρονη μηχανή*). Αξιοποιώντας τα πειράματα διαφόρων ερευνητών, ο Ρωσο-Γερμανός Michael Dolivo-Dobrowolsky κατασκεύασε το έτος 1889 τον πρώτο επαγωγικό τριφασικό κινητήρα με ικανοποιητική συμπεριφορά. Ο κινητήρας αυτός λειτουργούσε με βραχυκυκλωμένο κλωβό του δρομέα και κατασκευάστηκε στα εργαστήρια της εταιρίας AEG στο Βερολίνο. Μέχρι σήμερα δεν άλλαξε ουσιαστικά η βασική κατασκευαστική αρχή αυτών των κινητήρων, οι οποίοι είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι σε όλες τις εφαρμογές.

Στα επόμενα χρόνια εξελίχθηκε το γερμανικό τριφασικό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοιο βαθμό, ώστε το έτος 1891 τροφοδοτήθηκε η Φραγκφούρτη, σε απόσταση 175 km από το εργοστάσιο παραγωγής, με βαθμός αποδόσεως 70%. Το έτος 1893 η εταιρία Westinghouse τροφοδοτούσε περί τους 250.000 λαμπτήρες στην παγκόσμια έκθεση εμπορίου του Σικάγου.

Το έτος 1893 ο Γερμανο-Αμερικάνος μηχανικός Charles Steinmetz εισήγαγε τη μαθηματική περιγραφή των εναλλασσόμενων μεγεθών του ηλεκτρικού κυκλώματος, χρησιμοποιώντας το μιγαδικό συμβολισμό (*παραστατικοί μιγαδικοί αριθμοί*) για να απλοποιήσει τις πολύπλοκες τριγωνομετρικές εξισώσεις. Η μελέτη ηλεκτρικών δικτυωμάτων και συστημάτων έγινε πλέον αντικείμενο των ηλεκτρολόγων μηχανικών της εποχής και αυτό έδωσε νέα ώθηση, τόσο στην εκπαίδευση, όσο και στην έρευνα από πανεπιστήμια και εταιρίες. Με την εξάπλωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επήλθε η δεύτερη μεγάλη αλλαγή, μετά το σιδηρόδρομο, στο τοπίο των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών, τόσο λόγω των εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και λόγω των υπαίθριων μετασχηματιστών και κέντρων μετασχηματισμού της υψηλής τάσης.

Το 1889 εμφανίζεται το ηλεκτρικό ρεύμα στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργοληπιών, 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 Εταιρία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροχοδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

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.

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

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

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

Τις προϋποθέσεις αυτές κάλυψε η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) που ιδρύεται το 1950. Η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε.

Παράλληλα, η ΔΕΗ ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας. Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σιγά-σιγά, η ΔΕΗ εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της. Το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας.

Στη σημερινή εποχή, όπου η ενεργειακή παραγωγή αποτελεί πρωταρχικό μέλημα για κάθε κράτος, οι τεχνολογίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συνεχώς αναβαθμίζονται και αναπτύσσονται, με αποτέλεσμα αυτή την στιγμή να υπάρχει ένα φάσμα μερικών δεκάδων διαφορετικών ειδών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με κριτήριο διαχωρισμού το είδος της πρωτογενούς ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, το είδος του καυσίμου και την τεχνολογία.

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

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

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

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

-Σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) όπως:

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

Στο σχήμα 1 παρατηρούμε τα χαρακτηριστικά των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά την Ελλάδα που ανήκουν στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Στο σχήμα 2 βλέπουμε την κατανομή των μονάδων στον ελλαδικό χώρο.

Θερμικοί σταθμοί παραγωγής ΔΕΗ

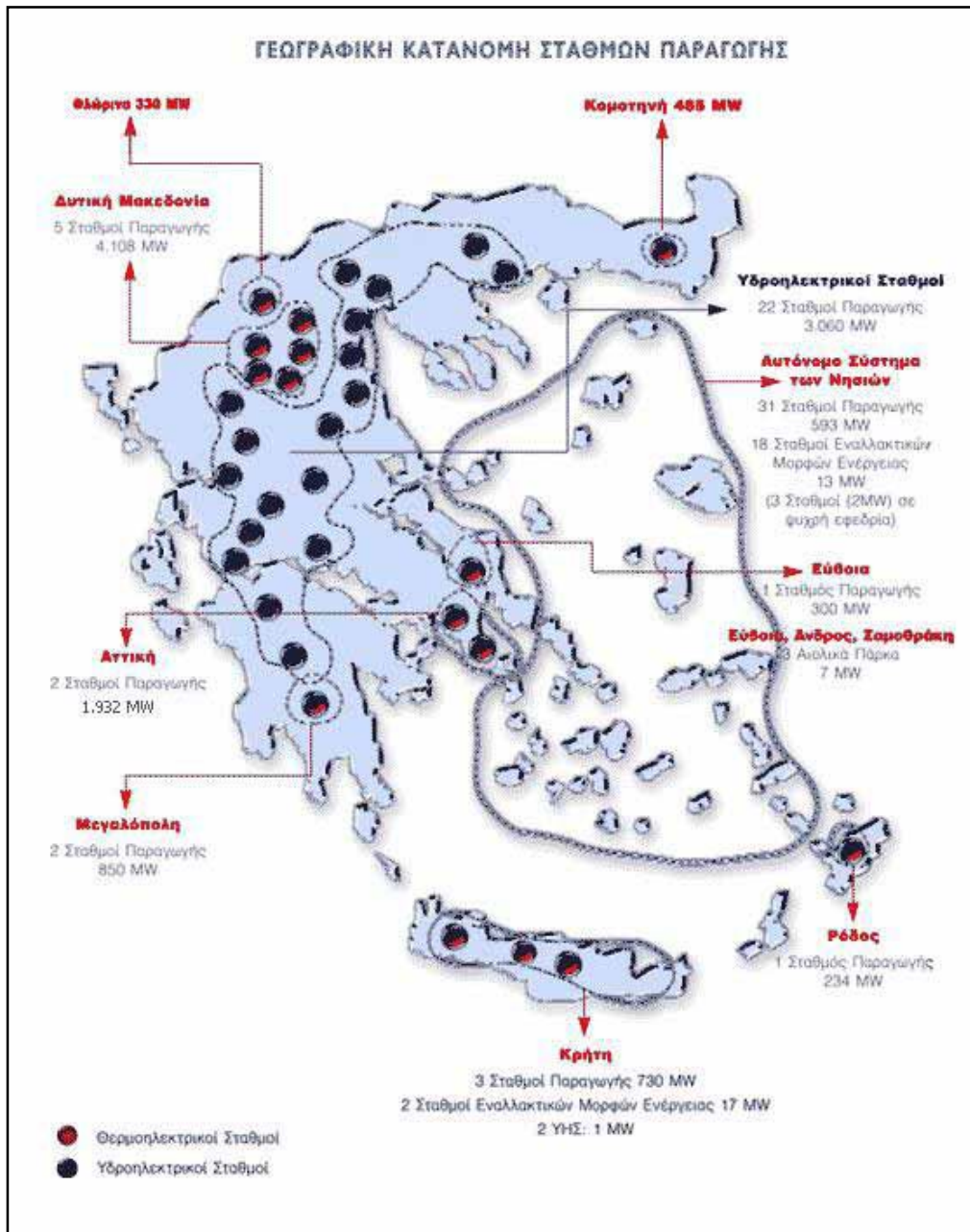
Σταθμός	Αρ. μονάδων	Εγκατ. Ισχύς (MW)	Περιοχή
Αγίου Δημητρίου	5	1587	Δ. Μακεδονία
Καρδιάς	4	1200	Δ. Μακεδονία
Πτολεμαΐδας	4	620	Δ. Μακεδονία
Αμυνταίου	2	600	Δ. Μακεδονία
Αλιβερίου	4	380	Ευβοία
Λαυρίου	4	1197	Αττική
Αγ. Γεωργίου	2	360	Αττική
Μεγαλόπολης	4	850	Πελοπόννησος
Λιπτολ	2	43	Δ. Μακεδονία
Αργοστολίου	1	11,6	Ν. Ιονίου
Ζακύνθου	1	27	Ν. Ιονίου

Πηγή: ΔΕΗ, 2001

Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ΔΕΗ (ισχύς μεγαλύτερη από 10 MW)

Όνομα ΥΗΣ	Αρ. μονάδων	Εγκατ. Ισχύς (MW)	Περιοχή
Αγρας	2	50	Μακεδονία
Εδεσσαίος	1	19	Μακεδονία
Ασωμάτων	2	108	Μακεδονία
Μακροχώρι (*)	3	10,8	Μακεδονία
Πολύφυτο	3	375	Μακεδονία
Σφηκιά	3	315	Μακεδονία
Θησαυρός	3	384	Θράκη
Πλατανόβρυση	2	116	Θράκη
Καστράκι	4	320	Κεντρ. Ελλάδα
Κρεμαστά	4	437	Κεντρ. Ελλάδα
Πλαστήρας	3	130	Κεντρ. Ελλάδα
Στράτος Ι	2	150	Κεντρ. Ελλάδα
Πουρνάρι Ι & ΙΙ	5	332,4	Ηπειρος
Πηγές Αώου	2	210	Ηπειρος
Λούρος	3	10,3	Ηπειρος
Λάδωνας	2	70	Πελοπόννησος

Σχήμα 1

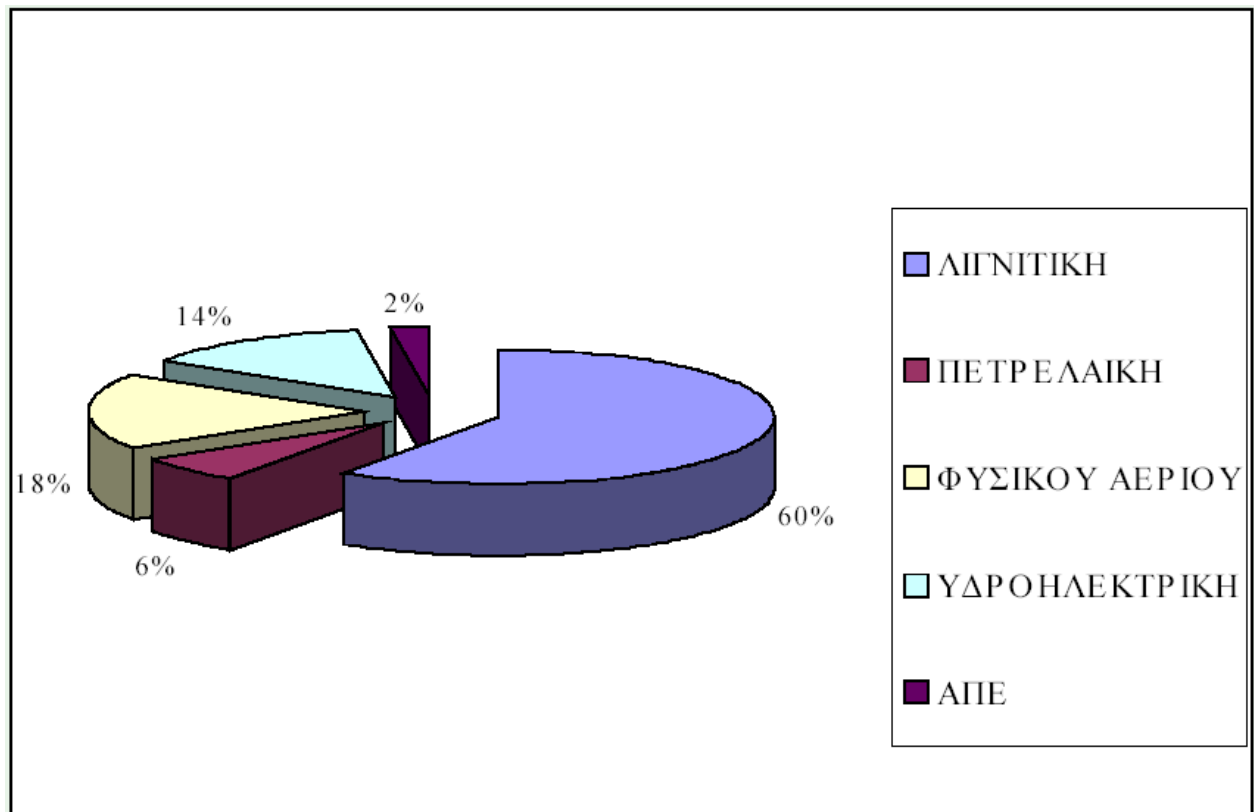


Σχήμα 2

Στον ελληνικό χώρο οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν είναι ποικίλων τεχνολογιών και χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό εκείνες τις ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν στη χώρα. Το συντριπτικό ποσοστό αυτών των σταθμών ανήκει στη ΔΕΗ, ενώ τα τελευταία χρόνια με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας έχουν αρχίσει να γίνονται κάποια βήματα από ιδιωτικές πρωτοβουλίες κυρίως σε μονάδες παραγωγής με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το κύριο μέσο ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο είναι οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ) και προβλέπεται ότι θα παραμείνει στο μεσοπρόθεσμο μέλλον.

Οι ΑΗΣ χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, κυρίως γαιάνθρακες και φυσικό αέριο. Το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα αποτελείται κυρίως από λιγνιτικούς /ανθρακικούς ΑΗΣ σχετικά χαμηλού βαθμού απόδοσης με καύσιμο λιγνίτη χαμηλής ποιότητας, καθώς και πετρέλαιο, ενώ πιο πρόσφατα έχει ξεκινήσει η εγκατάσταση νέων μονάδων συνδυασμένου

κύκλου φυσικού αερίου. Συγκεκριμένα, το 60% της ενεργειακής ζήτησης καλύπτεται από λιγνιτικούς ΑΗΣ, ενώ το υπόλοιπο από πετρελαϊκούς (6%), φυσικού αερίου (18%), υδροηλεκτρικούς (14%), και ανανεώσιμες πηγές (2%). Η ποσοστιαία κατανομή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :

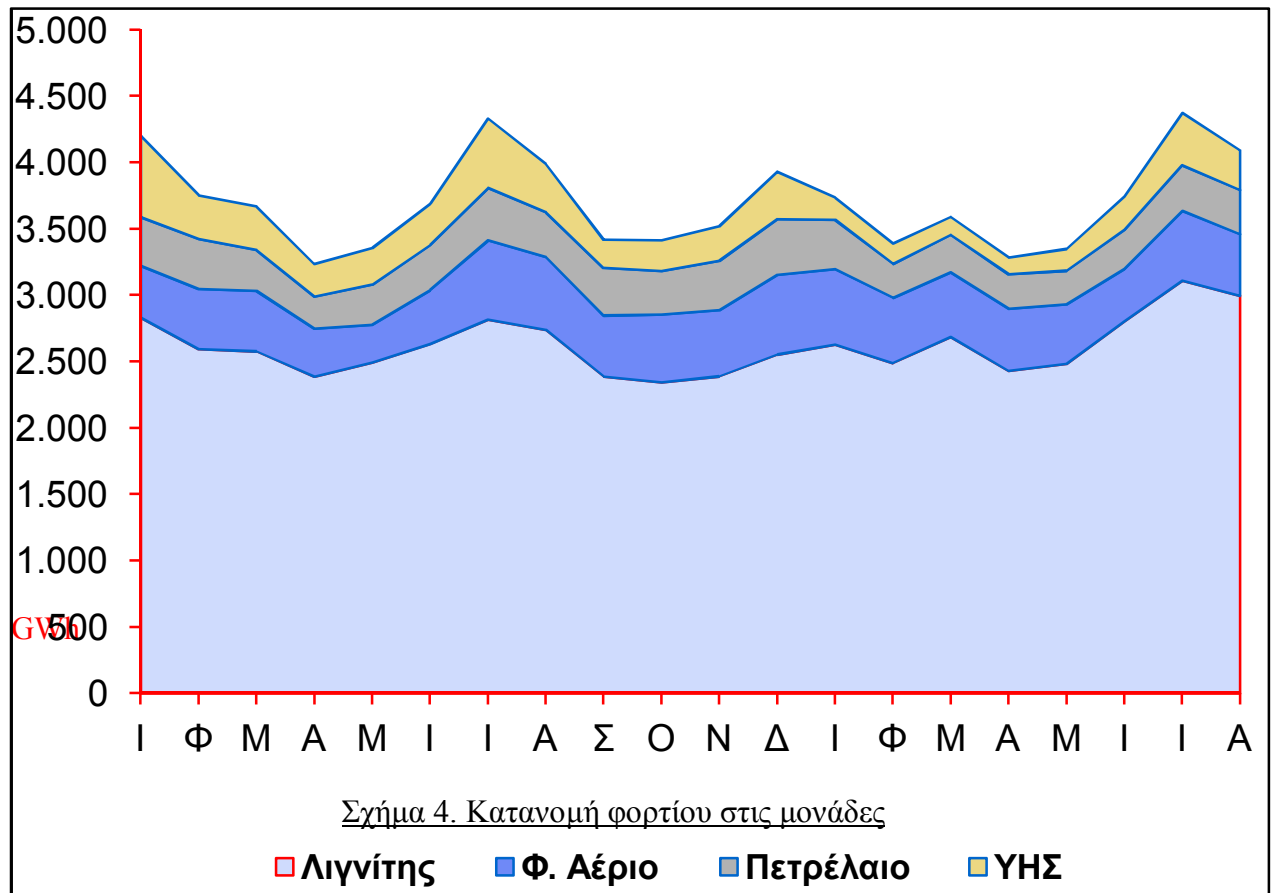


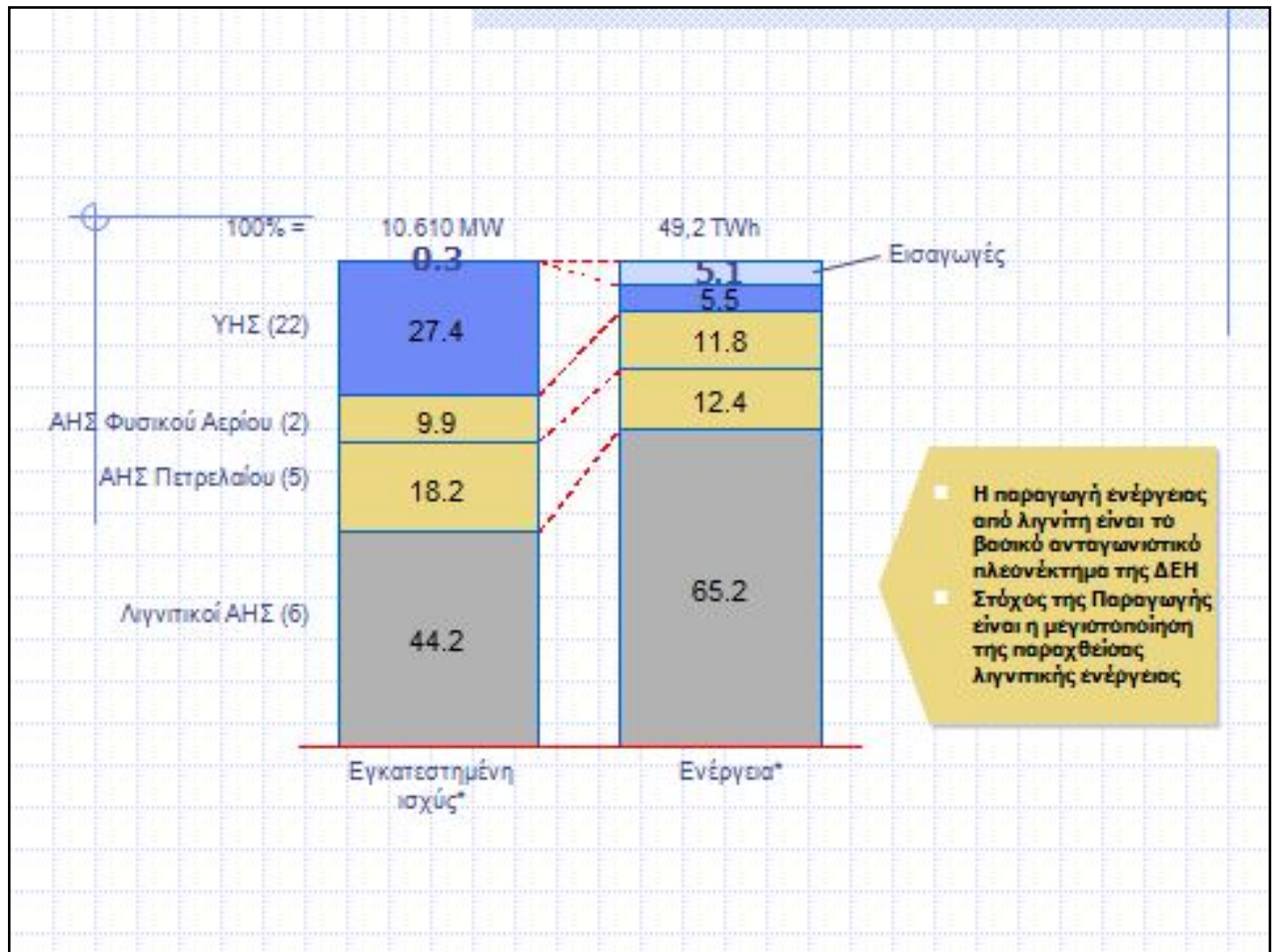
Σχήμα 3

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στους λιγνιτικούς ΑΗΣ για το φορτίο βάσης και στην υδροηλεκτρική παραγωγή και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις αιχμές φορτίου, ενώ το υπόλοιπο φορτίο καλύπτεται από μονάδες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αναλυτικότερα, οι μονάδες παραγωγής χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες αναλόγως τη σύνδεσή τους στο δίκτυο. Έτσι έχουμε:

- Μονάδες βάσης που είναι συνήθως οι λιγνιτικοί ΑΗΣ. Έχουν μεγάλη ισχύ που καλύπτουν το μεγαλύτερο σύνολο της ζήτησης, καταναλώνουν φθηνό καύσιμο, χαρακτηρίζονται από δύσκολη μεταβολή φορτίου και έχουν αργή και χρονοβόρα διαδικασία εκκίνησης (περίπου 8-10 ώρες)
- Μονάδες μέσης ισχύος που είναι συνήθως ΑΗΣ με καύσιμο πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή μαζούτ. Οι σταθμοί αυτοί καλύπτουν μεγάλη και μέση ισχύ, έχουν ευελιξία στη μεταβολή φορτίου και μικρό χρόνο ανταπόκρισης σε περιπτώσεις άμεσης ζήτησης.
- Μονάδες αιχμής που είναι συνήθως υδροηλεκτρικές μονάδες ή θερμικές με αεριοστροβίλους(jet) και χαρακτηρίζονται από μικρή ισχύ, άμεση εκκίνηση και πολύ γρήγορη ανταπόκριση σε σχέση με τις παραπάνω κατηγορίες. Για όλους τους παραπάνω λόγους η λειτουργία των μονάδων αυτών γίνεται κατά τη διάρκεια αιχμής, χρησιμεύουν δηλαδή για εφεδρεία στην κάλυψη μιας αυξημένης ζήτησης περιόδων αιχμής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της παραπάνω κατηγοριοποίησης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα παρακάτω σχήματα (Σχ.4, Σχ.5) όπου απεικονίζεται γραφικά η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από τις εκάστοτε μονάδες. Φυσικά, εάν υπάρξει μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας από την προσφερόμενη γίνεται εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις διασυνδεδεμένες γειτονικές χώρες που είναι η Αλβανία, η Βουλγαρία, η ΠΓΔΜ και η Ιταλία.





Σχήμα 5. Κατανομή φορτίου στις μονάδες

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά το 2001 έφθασε τις 49,2 TWh και το 2002 τις 50,6 TWh με εγκατεστημένη ισχύ 11.739 MW μονάδων της ΔΕΗ και 515 MW από αυτοπαραγωγούς και παραγωγούς ανανεώσιμης ενέργειας.

Παρατηρώντας, λοιπόν, τα παραπάνω σχήματα συμπεραίνουμε ότι η κυριότερη πηγή καυσίμου είναι ο εγχώριος λιγνίτης μικρής θερμογόνου δύναμης. Συνολικά, η εγκατεστημένη ισχύς από λιγνιτικούς ΑΗΣ στη χώρα ανέρχεται περίπου στα 5300MW. Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως για την κίνηση ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων νησιωτικών μη διασυνδεδεμένων συστημάτων. Το φυσικό αέριο εισάγεται από τη Ρωσία και σε μορφή LNG από την Αλγερία. Τέλος, τα μεγάλα και μικρά υδροηλεκτρικά, η αιολική ενέργεια, η βιομάζα και τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν το μικρότερο ποσοστό ζήτησης ενέργειας ενώ οι εισαγωγές από τις γειτονικές χώρες καλύπτουν όσο παραπάνω χρειάζεται. Όσον αφορά τις ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας με τις γύρω χώρες πρέπει να σημειωθεί ότι με τις βαλκανικές χώρες (Αλβανία, ΠΓΔΜ και Βουλγαρία) υπάρχουν συνδέσεις ικανές να καλύψουν σε ετήσια βάση ανταλλαγές σε επίπεδο άνω του 7% των αναγκών της χώρας κυρίως από την περίσσεια ενέργειας των συστημάτων της Βουλγαρίας και Ρουμανίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Κύρια παραγωγική διαδικασία ΑΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ

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

Στην παρούσα εργασία θα περιγραφεί η λειτουργία παραγωγής ενός ΑΗΣ. Ως σημείο αναφοράς θα εκληφθεί ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου Κοζάνης αφού η λειτουργία του είναι ίδια με οποιονδήποτε άλλο λιγνιτικό θερμοηλεκτρικό σταθμό. Έτσι, τα μεγέθη που θα ακολουθήσουν αφορούν τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου ενώ μέσω της περιγραφής της παραγωγικής διαδικασίας του σταθμού θα κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο γενικότερα παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από λιγνιτικό ΑΗΣ.

Ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένος στο νομό Κοζάνης, σε υψόμετρο 678 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας στο 12^οχιλ. της Εθνικής οδού Κοζάνης – Θεσσαλονίκης και σε απόσταση 18 χιλιομέτρων από την πόλη της Κοζάνης. Το όνομα του σταθμού προέρχεται από το κοντινό χωριό Άγιος Δημήτριος που απέχει μόλις 1000 μέτρα μακριά. Αποτελείται από πέντε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος 1595MW (2x300MW, 2x310MW και 1x375MW) και είναι ο μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής στην Ελλάδα. Η συνολική έκταση των εγκαταστάσεών του είναι 3.236 στρέμματα.

Ο σταθμός για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιεί ως καύσιμο τον τοπικό λιγνίτη όπου τα εδάφη της γύρω περιοχής είναι πλούσια σε λιγνιτικά κοιτάσματα. Ο λιγνίτης μεταφέρεται από τα ορυχεία από απόσταση 16.5 χιλιόμετρα περίπου, κυρίως με ταινιόδρομους και σε μικρές ποσότητες με φορτηγά αυτοκίνητα. Η μέση ημερήσια κατανάλωση λιγνίτη υπό πλήρες φορτίο είναι 68.000 τόνοι. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για τη λειτουργία του σταθμού και την ψύξη των επιμέρους τμημάτων αντλείται από τη λίμνη Πολυφύτου και είναι της τάξης των 65.000m³ ημερησίως.

Τα κατάλοιπα της καύσεως (τέφρα) είναι περίπου 7000 τόνοι ημερησίως και μεταφέρονται με ταινιόδρομους προς απόθεση στα ήδη εξαντλημένα ορυχεία. Ένα μέρος αυτών διατίθεται προς πώληση ως πρώτη ύλη για την Παρασκευή τσιμέντου στις αντίστοιχες τσιμεντοβιομηχανίες. Επιπλέον, ο σταθμός περιλαμβάνει τρία ανεξάρτητα συγκροτήματα παραγωγής θερμού νερού για την τηλεθέρμανση της πόλης της Κοζάνης. Υπάρχουν τέσσερις κύριες υπηρεσίες : ο τομέας λειτουργίας και βελτιώσεων, ο τομέας συντήρησης, ο τομέας χημείου και το διοικητικό – οικονομικό κλιμάκιο.

Ο ΑΗΣ του Αγίου Δημητρίου αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα :

- Σύστημα πρόθραυσης του λιγνίτη, όπου σπαστήρες μειώνουν το μέγεθος των τεμαχίων του λιγνίτη σε διαστάσεις κάτω των 40 mm, πριν τροφοδοτηθούν μέσω ταινιόδρομων-σιλό λιγνίτη οι μύλοι των μονάδων.
- Πέντε κύριες εγκαταστάσεις που κάθε μία περιλαμβάνει : το λέβητα ατμοποίησης, τη στροβιλογεννήτρια, τον πύργο ψύξεως, όλο τον αναγκαίο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, καθώς και τα κυκλώματα νερού-ατμού, σύστημα καύσης λιγνίτη, αέρα καύσης και καυσαερίων ενώ ανά δύο μονάδες υπάρχει μία καπνοδόχος και μία καπνοδόχος για την μονάδα V.
- Πέντε συστήματα συλλογής και αποκομιδής ιπτάμενης και υγρής τέφρας. Αυτά περιλαμβάνουν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα ιπτάμενης τέφρας, τα σιλό αποθήκευσης, τις διατάξεις ύγρανσης και εκφόρτωσης της τέφρας σε ταινιόδρομους, καθώς επίσης και το σύστημα αποκομιδής της υγρής τέφρας από την τεφρολεκάνη του λέβητα. Τέλος υπάρχουν δύο συστήματα μεταφοράς της τέφρας (ταινιόδρομοι) προς την τελική απόθεση.
- Τρία ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής αφαλατωμένου και αποσκληρυμένου νερού (ένα σύστημα εξυπηρετεί δύο μονάδες και το τρίτο την μον. V).
- Δεξαμενές νερού (αφαλατωμένου, αποσκληρυμένου, ποσίμου κλπ.) και υγρών καυσίμων (Diesel).
- Επίσης υπάρχουν βοηθητικές εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν τις μονάδες του σταθμού, όπως οι υπαίθριες αποθήκες λιγνίτη και οι ταινιόδρομοι μεταφοράς του, τα συστήματα κατεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων, μηχανουργείο, ηλεκτρολογείο, ξυλουργείο, συνεργείο οχημάτων καθώς και οι εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης προσωπικού, όπως το διοικητήριο, το εστιατόριο κλπ

Οι μονάδες έχουν τεθεί σε λειτουργία από:

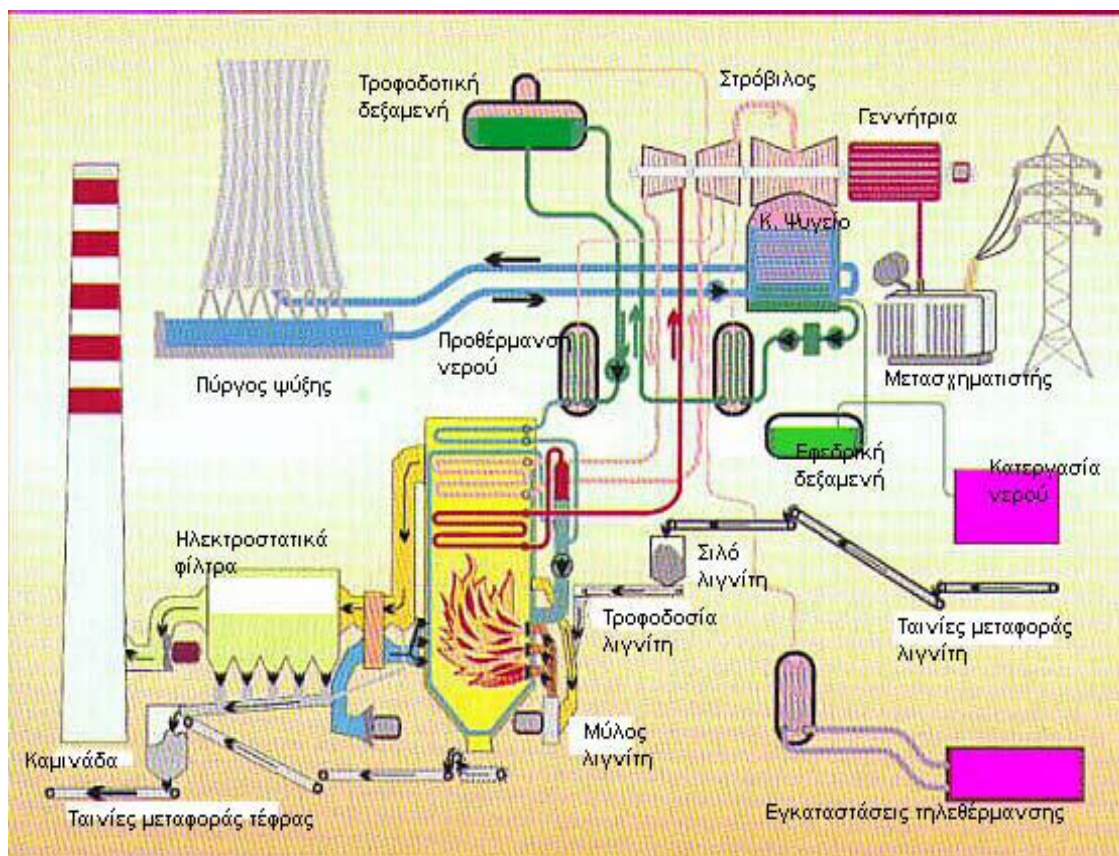
- Μονάδα I : 23/05/84
- Μονάδα II : 22/12/84
- Μονάδα III : 02/11/85
- Μονάδα IV : 23/04/86
- Μονάδα V : 22/05/97

Η λειτουργία τους είναι συνεχής και αποτελούν Μονάδες Βάσης του Εθνικού Ηλεκτρικού Δικτύου. Για μία φορά το χρόνο και για διάρκεια περίπου ενός μήνα η κάθε μονάδα τίθεται εκτός λειτουργίας για ετήσια συντήρηση. Κατά τη διάρκειά της γίνονται πέρα από τις αποκαταστάσεις βλαβών και προληπτικές συντηρήσεις μηχανημάτων καθώς και καθαρισμοί δικτύων και δεξαμενών.

Η αρχή λειτουργίας του ΑΗΣ είναι η εξής: η χημική ενέργεια από την καύση του λιγνίτη μετατρέπεται σε θερμική. Η θερμική ενέργεια μετατρέπει το νερό σε ατμό υπό πίεση. Στη συνέχεια η κινητική ενέργεια του ατμού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του δρομέα της γεννήτριας μέσω του στρόβιλου και μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μεταφέρεται μέσω υποσταθμών και γραμμών μεταφοράς στους καταναλωτές.

Το καύσιμο (λιγνίτης χαμηλής θερμογόνου δύναμης) οδηγείται με ταινιόδρους στα σιλό των μύλων και με ειδικούς τροφοδότες καταλήγει στους μύλους όπου αλέθεται. Ο λιγνίτης υπό μορφή σκόνης οδηγείται για καύση σε ειδικούς καυστήρες οι οποίοι και θερμαίνουν τους αμολέβητες για αμολοποίηση του νερού. Ο αμολέβητας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού ύδατος θερμοκρασίας 540°C και πίεσης 170atm.

Ο ατμός αυτός οδηγείται με αμολογούς στο στρόβιλο τον οποίο και στρέφει με 3.000 στροφές το λεπτό. Ο ατμός μετά την εκτόνωσή του στο στρόβιλο συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και μέσω προθερμαντών νερού οδηγείται ξανά στο λέβητα για να συνεχίσει την ίδια διαδικασία. Ο αμολοστρόβιλος στρέφει τη γεννήτρια, η οποία παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, μέσω του μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης 21KV/400KV, καταλήγει στο Εθνικό Δίκτυο μέσω των Κέντρων Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ).



Η παραπάνω παραγωγική διαδικασία θα περιγραφεί τμηματικά και αναλυτικά στις ενότητες που ακολουθούν παρακάτω.

1.1 ΛΙΓΝΙΤΗΣ

Δημιουργία των λιγνιτών

Οι λιγνίτες αλλά και οι άνθρακες γενικότερα είναι το αποτέλεσμα μιας ιδιότυπης αποσύνθεσης φυτών η οποία χαρακτηρίζεται με τον ειδικό όρο ως ενανθράκωση. Τα λιγνιτικά κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας διαμορφώθηκαν κατά την τριτογενή γεωλογική περίοδο και είναι ηλικίας ενός έως πέντε εκατομμυρίων ετών. Η ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης πριν από εκατομμύρια χρόνια, ήταν μια περιοχή με αβαθείς λίμνες και διάσπαρτα έλη. Οι κλιματολογικές συνθήκες της εποχής ευνοούσαν την ανάπτυξη υδροχαρών φυτών όπως καλάμια και βρύα. Όταν τα φυτά ξεραίνονταν, έπεφταν στο φτωχό σε οξυγόνο νερό των βάλτων και σκεπάζονταν από λάσπη. Παράλληλα, λόγω καθιζήσεων, τα φυτά καλυπτόταν 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. Πάνω από τα νεότερα στρώματα λιγνίτη επικάθισαν γαιώδη υλικά, τα λεγόμενα "υπερκείμενα". Το πάχος των υπερκείμενων υλικών (άμμος, ασβεστόλιθος, άργιλος) κυμαίνεται στην Πτολεμαΐδα από 12 έως 200 μέτρα. Επιπλέον, το κοιτάσμα του λιγνίτη δεν είναι ενιαίο διότι ακριβώς μέσα στο κοιτάσμα υπάρχουν τα παλαιότερα γαιώδη υλικά τα οποία ονομάζονται "ενδιάμεσα". Για τον σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη, υπολογίστηκε ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών.

Αποθέματα λιγνίτη

Στη Δυτική Μακεδονία παράγονται ετησίως 60 εκατομμύρια τόνοι λιγνίτη. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχτεί 1,2 δις τόνοι λιγνίτη, ενώ με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα, τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα της περιοχής, εκτιμώνται σε 2,4 δις τόνους. Η λιγνιτική δραστηριότητα που αναπτύσσεται κυρίως στη Δ. Μακεδονία αλλά και στη Μεγαλόπολη, κατατάσσει την Ελλάδα στη 2η θέση μεταξύ των λιγνιτοπαραγωγών χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την 5η θέση σε παγκόσμια κλίμακα. Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο.

Με τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δις τόνους, στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόνους και στην περιοχή Ελασσόνας με 169 εκ. τόνους. Επίσης στην Πελοπόννησο, περιοχή Μεγαλόπολης, υπάρχει λιγνιτικό κοιτάσμα με απόθεμα περίπου 223 εκ. τόνους. Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 975-1380 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας και 1927-2257 kcal/kg στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Η μέση υγρασία του

λιγνίτη Πτολεμαΐδας είναι 50-60 %, η τέφρα 35% και η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα 1.300 kcal/kg. Για την παραγωγή 1KWh απαιτείται καύση 1,85Kg λιγνίτη. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο.

Εξόρυξη του λιγνίτη

Σε ένα σύστημα συνεχούς λειτουργίας στο οποίο χρησιμοποιούνται ηλεκτροκίνητοι καδοφόροι εκσκαφείς, ταινιόδρομοι, απολήπτες και αποθέτες, το κοίτασμα του λιγνίτη εκσκάπτεται κατά στρώσεις. Η εξόρυξη των υπερκειμένων και στη συνέχεια του λιγνίτη, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα συνεχούς λειτουργίας τους καδοφόρους εκσκαφείς (Σχ).



Σχήμα 6. Καδοφόρος Εκσκαφέας

Από τα υλικά που εξορύσσονται, ο μεν λιγνίτης μεταφέρεται στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς, τα δε υπερκείμενα και ενδιάμεσα υλικά μεταφέρονται και αποτίθενται κυρίως στις περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί εξόρυξη, ώστε μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, η επίπτωση στο τοπίο της περιοχής να είναι η ελάχιστη δυνατή. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων, γίνεται με τους ταινιόδρομους οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν συνεχώς σε μακρινές αποστάσεις μεγάλες ποσότητες υλικών. Τέλος, η απόθεση των στείρων υλικών στις περιοχές όπου έχει αποληφθεί ο λιγνίτης, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα - τα συνεχούς λειτουργίας που ονομάζονται αποθέτες. Εκτός από τον κύριο εξοπλισμό, η εξόρυξη και διαχείριση του λιγνίτη απαιτεί τη χρήση πολλαπλού εξοπλισμού όπως χωματουργικά μηχανήματα, φορτωτές εκσκαφείς, φορτηγά κλπ τα οποία αποτελούν βοηθητικό εξοπλισμό.

Χρήση του λιγνίτη στην παραγωγή ενέργειας

Ο λιγνίτης μέσω των ταινιόδρομων είτε αποθηκεύεται στην Αυλή του λιγνίτη είτε οδηγείται απευθείας στους σπαστήρες. Η ικανότητα αποθήκευσης της αυλής είναι 1.000.000 τόνοι. Η αποθήκευση του λιγνίτη παρέχει αυτονομία στο σταθμό για χρονικές περιόδους όπου το ορυχείο αδυνατεί να τον προμηθεύσει. Μετά την αυλή αποθήκευσης ο λιγνίτης οδηγείται εκ νέου μέσω ταινιόδρομων στο κτίριο του σπαστήρα όπου πραγματοποιείται η θραύση του καυσίμου σε κομμάτια μέγιστης διαμέτρου 4 cm.



Σχήμα 7. Διακρίνονται : Αυλή λιγνίτη, ταινιόδρομοι, απολήπτες - αποθέτες

Στη συνέχεια και πάλι με τη βοήθεια ταινιόδρομων, ο λιγνίτης οδηγείται στα σιλό τα οποία είναι οκτώ για κάθε μονάδα. Μετά τα σιλό γίνεται κονιορτοποίηση του καυσίμου στους μύλους και με τα κατάλληλα στροφέα διοχετεύεται στο εσωτερικό του λέβητα για καύση. Οι μύλοι λιγνίτη μέσω αγωγών απορροφούν κάποιο ποσοστό θερμοκρασίας από το λέβητα προθερμαίνοντας εν μέρει τον λιγνίτη. Παράλληλα, ο λιγνίτης θρυμματίζεται και υπό μορφή πούδρας εκτοξεύεται στο εσωτερικό του λέβητα σε ύψος μεγαλύτερο της εστίας καύσης και προσπίπτει στην εστία. Υπάρχουν οκτώ μύλοι για κάθε μονάδα, δύο από κάθε πλευρά του λέβητα. Για πλήρες φορτίο λειτουργούν επτά μύλοι και ένας βρίσκεται σε εφεδρεία.

1.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΝΕΡΟΥ/ΑΤΜΟΥ

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι η πρώτη ύλη που απαιτείται για τις εξής διεργασίες:

- Χρησιμοποιείται σαν **ακατέργαστο** νερό για το δίκτυο πυρόσβεσης του Σταθμού και για εσωτερικές καταναλώσεις (ποτίσματα κ.τ.λ)

- Χρησιμοποιείται σαν **αποσκληρημένο** νερό για την ψύξη των μηχανημάτων και την συμπύκνωση του ατμού στο Κύριο Ψυγείο των Μονάδων. Η εξάτμιση του νερού στους Πύργους Ψύξης δημιουργεί την ανάγκη συμπλήρωσης αυτής της ποσότητας. Για κάθε παραγόμενο MW απαιτούνται περίπου 2 τόνοι νερού συμπλήρωσης. Επιπλέον απαιτείται κατανάλωση νερού για την διαβροχή της τέφρας, για ρύθμιση της σκληρότητας του, για συμπλήρωση των λοιπών απωλειών από διάφορα κυκλώματα (τεφρολεκάνη, υδροτζίφαρα, κ.τ.λ.). Ο Μ.Ο της συνολικής κατανάλωσης του νερού στις θερινές περιόδους αιχμών φτάνει τους 2.7 tn/MW)
- Χρησιμοποιείται σαν **αφαλατωμένο** για το κλειστό κύκλωμα παραγωγής ατμού των Μονάδων και για ψύξη ορισμένων μηχανημάτων. Η ενδεδειγμένη κατανάλωση αφαλατωμένου κάθε Μονάδας λόγω απωλειών κατά την διάρκεια του εκκαπνισμού και λόγω μη ανάκτησης όλου του βοηθητικού ατμού προς το δίκτυο θέρμανσης, προθέρμανσης αέρα των FDF, προθέρμανσης δεξαμενών πετρελαίου, προθέρμανσης του νερού που κατεργάζεται το χημείο πρέπει να είναι της τάξης των 10 tn/h το καλοκαίρι και 15 tn/h τον χειμώνα. Λόγω όμως διαφόρων επιπλέον διαρροών στα κυκλώματα υπάρχει αυξημένη κατανάλωση.

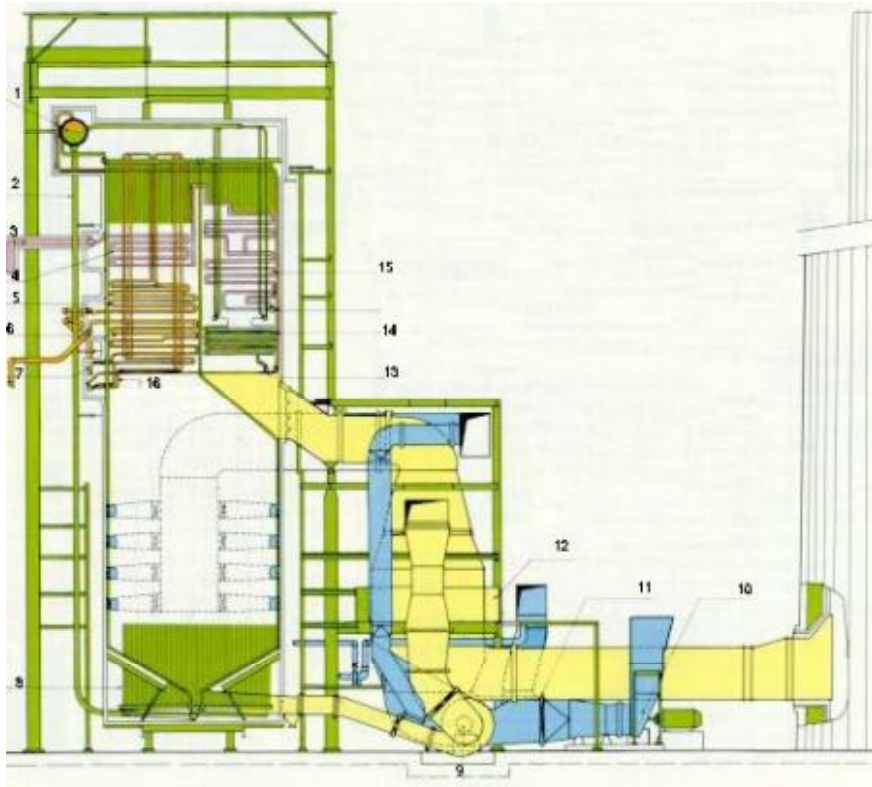
Αν ακολουθήσουμε τη διαδρομή του νερού στο κύκλωμα θα παρατηρήσουμε ότι το νερό προθερμαίνεται, υπερθερμαίνεται, ατμοποιείται και στη συνέχεια υγροποιείται ξανά, δηλαδή συμπυκνώνεται. Προτού όμως μελετήσουμε το κύκλο του ατμού στο σύστημα ας δούμε τα μέρη που απαρτίζουν το κύκλωμα νερού.

Λέβητας

Ο λέβητας είναι το τμήμα του ΑΗΣ το οποίο παράγει τον κορεσμένο, υπέρθερμο, και ανάθερμο ατμό. Εκμεταλλεύεται την θερμότητα των καυσαερίων και της ακτινοβολίας που παράγονται κατά την καύση του καυσίμου (στερεό, υγρό ή αέριο). Ο λέβητας λειτουργεί με υποπίεση, δηλαδή η πίεση είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Στην ουσία αποτελεί έναν εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ ενός ρεύματος θερμού καυσαερίου και ενός ρεύματος νερού, που καθώς διαρρέει τον λέβητα, μετασχηματίζεται σταδιακά σε κορεσμένο και υπέρθερμο ατμό, παίρνοντας θερμότητα από το καυσαέριο. Τα δύο αυτά ρεύματα είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και στεγανά μεταξύ τους. Η θερμότητα μεταδίδεται μέσα από τα τοιχώματα των αγωγών των δύο ρευμάτων, από τον φορέα θερμότητας (καυσαέριο) προς το εργαζόμενο μέσο (νερό).

Το σύστημα αγωγών του εργαζόμενου μέσου αποτελείται συνήθως από πολλούς παράλληλους σωλήνες μικρής διαμέτρου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 8. Η σχετικά μικρή διάμετρος ευνοεί την μετάδοση θερμότητας από τον φορέα στο εργαζόμενο μέσο διότι αυξάνει την επιφάνεια συναλλαγής. Η καύση του καυσίμου και η δημιουργία του καυσαερίου πραγματοποιείται σε ειδικό χώρο του λέβητα που ονομάζεται θάλαμος καύσης.

Η παραγωγή του ατμού γίνεται σε τρία στάδια: 1)την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού μέχρι τη θερμοκρασία κορεσμού, 2)την ατμοποίηση του νερού σε κορεσμένο ατμό, και 3)την υπερθέρμανση του κορεσμένου ατμού. Και τα τρία στάδια πραγματοποιούνται εντός του λέβητα. Υπάρχει ξεχωριστή διάταξη μέσα στον λέβητα για την υλοποίηση του κάθε σταδίου. Οι λέβητες των μονάδων I, II, III και IV έχουν ύψος 80 μέτρων, ενώ της μονάδας V 100 μέτρα και είναι αναρτημένοι, για λόγους διαστολών, από την οροφή του λεβητοστασίου.



Υπόμνημα Περιγραφής Ατμολέβητα

1. Τύμπανο
2. Αυλοί καθόδου
3. Έξοδος ανάθερμου
4. Αναθερμαντής υψηλής θερμοκρασίας
5. Υπερθερμαντής υψηλής θερμοκρασίας
6. Υπερθερμαντής υψηλής θερμοκρασίας
7. Έξοδος υπέρθερμου ατμού
8. Αυλοί ανόδου
9. Ανεμιστήρας ανακυκλοφορίας καυσαερίων
10. Ανεμιστήρες κατάθλιψης
11. Προθερμαντές αέρος δι' ατμού
12. Προθερμαντές αέρος δια καυσαερίων
13. Συλλέκτης εισόδου οικονομίας
14. Οικονομητήρας
15. Αναθερμαντής χαμηλής θερμοκρασίας
16. Υπερθερμαντής χαμηλής θερμοκρασίας

Ο λέβητας εμπεριέχει περιμετρικά σειρά αγωγών εργαζόμενου μέσου ώστε να εκμεταλλεύεται και την θερμότητα της παραγόμενης ακτινοβολίας της καύσης. Είναι η πρώτη δέσμη σωλήνων του εργαζόμενου μέσου οι οποίοι προσλαμβάνουν θερμότητα, και ονομάζονται **αυλοί ανόδου**. Σε αυτούς παράγεται ο κορεσμένος ατμός. Στη συνέχεια, ο κορεσμένος ατμός υπερθερμαίνεται χρησιμοποιώντας νέα δέσμη σωλήνων, η οποία ονομάζεται **υπερθερμαντής**, και είναι τοποθετημένη σε κατάλληλα διαμορφωμένο οχετό στον οποίο κυκλοφορεί το καυσαέριο μετά την έξοδό του από την εστία. Σκοπός του υπερθερμαντή είναι η ανύψωση της θερμοκρασίας του ατμού του λέβητα πάνω από την θερμοκρασία κορεσμού. Καθώς ο ατμός μπαίνει στον υπερθερμαντή σε ξηρή κατάσταση, περαιτέρω απορρόφηση θερμότητας οδηγεί σε αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού.

Ο υπερθερμαντής είναι τοποθετημένος στον λέβητα και είναι ουσιαστικά μια σωληνωτή θερμαντική επιφάνεια εκτεθειμένη στα καυσαέρια. Η θερμότητα που απορροφάται από την ακτινοβολία της εστίας του λέβητα ή των καυσαερίων, εξατμίζει πρώτα την υγρασία που μεταφέρει ο ατμός και στην συνέχεια υπερθερμαίνει τον ατμό. Τα καυσαέρια, με μεγάλη θερμοκρασία και ταχύτητα, σαρώνουν τις σωληνώσεις του υπερθερμαντή και ανυψώνουν την θερμοκρασία του ατμού υπό σταθερή πίεση στην τελική θερμοκρασία.

Στον οχετό καυσαερίου μετά τον υπερθερμαντή τοποθετείται άλλη δέσμη από σωλήνες στις οποίες ρέει ο ατμός, ο **αναθερμαντής** και έχει σκοπό την ενδιάμεση αναθέρμανση του ατμού ύστερα από μερική εκτόνωση στο στρόβιλο υψηλής πίεσης. Ο αναθερμαντής είναι τοποθετημένος στο λέβητα της εγκατάστασης και θερμαίνεται από τα καυσαέρια. Ο ατμός που αναθερμάνθηκε τροφοδοτείται ξανά στον στρόβιλο της επόμενης βαθμίδας.

Ο **οικονομητήρας** (Economizer ή ECO) αποτελεί τη τελευταία δέσμη αγωγών νερού/ατμού η οποία θερμαίνεται από θερμό καυσαέριο. Ρόλος του είναι η θέρμανση του νερού παροχής. Τα καυσαέρια που βγαίνουν από τον λέβητα, μετά τους υπερθερμαντές/αναθερμαντές, έχουν θερμοκρασία της τάξης των 300-600°C. Κατευθείαν αποβολή των καυσαερίων, στις θερμοκρασίες αυτές, στην ατμόσφαιρα θα οδηγούσε σε χαμηλό βαθμό απόδοσης του λέβητα (και κατ' επέκταση του συστήματος). Για την εκμετάλλευση της θερμότητας αυτής των καυσαερίων τοποθετείται στους λέβητες ο οικονομητήρας. Στον οικονομητήρα, μέρος της θερμότητας των καυσαερίων μεταφέρεται στο νερό τροφοδοσίας του λέβητα, το οποίο μπαίνει στον οικονομητήρα σε θερμοκρασία αρκετά χαμηλότερη τη θερμοκρασίας κορεσμού. Από τη λειτουργία αυτή, δηλαδή την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας του λέβητα με σκοπό την αύξηση της οικονομίας (απόδοσης) του συστήματος, προέκυψε και το όνομα της συσκευής. Για κάθε ανύψωση 5.5°C στη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας που προκαλεί ο οικονομητήρας, η απόδοση του λέβητα αυξάνεται κατά 1% περίπου.

Γενικότερα ο οικονομητήρας, ο οποίος είναι ο τελευταίος θερμαντής του νερού πριν την είσοδό του στο λέβητα, σχεδιάζεται για καθοδική ροή των καυσαερίων και ανοδική ροή του νερού. Συνήθως αποτελείται από διάταξη χαλύβδινων αυλών, γυμνών ή πτερυγιοφόρων, στο εσωτερικό των οποίων ρέει το υπό πίεση νερό τροφοδοσίας ενώ στο εξωτερικό τα αέρια της καύσης. Είναι μια συσκευή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή και επειδή συνήθως οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας των αερίων είναι μικροί, είναι συσκευή μεγάλης επιφάνειας. Μετά τον οικονομητήρα, το νερό τροφοδοτείται στους αυλούς ανόδου.

Χαρακτηριστικά Λεβήτων Μονάδων

Μονάδες	I	II	III	IV	V
<i>Τύπος Λέβητα</i>	SULZER	SULZER	SULZER	SULZER	BENSON
<i>Μέγιστη Ατμοπαραγωγή (T/h)</i>	916	916	950	950	1.029
<i>Ροή Υ/Θ Ατμού (T/h)</i>	853,8	853,8	887,2	887,2	993,1
<i>Πίεση Υ/Θ Ατμού (bar)</i>	171,4	171,4	171,3	171,3	199
<i>Θερμοκρασία Υ/Θ Ατμού (°C)</i>	542	542	542	542	540
<i>Πίεση Α/Θ Ατμού (bar)</i>	40,1	40,1	39,7	39,7	32,6
<i>Θερμοκρασία Α/Θ Ατμού (°C)</i>	542	542	542	542	540
<i>Θερμοκρασ. Τροφ. Νερού (°C)</i>	248	248	257	257	238
<i>Βαθμός Απόδοσης (%)</i>	87	87	87	87	88



Σχήμα 8. Επιφάνειες ενός συστήματος αγωγών ατμού.

Προθερμαντήρες Νερού

Οι προθερμαντήρες είναι **εναλλάκτες** θερμότητας οι οποίοι χρησιμοποιούν τις απομαστεύσεις ατμού από τον αμοστρόβιλο για να θερμάνουν το τροφοδοτικό νερό που κατευθύνεται στο λέβητα προς ατμοποίηση. Στο κύκλωμα υπάρχουν δύο εναλλάκτες, ένας χαμηλής(ΧΠ) και ένας υψηλής(ΥΠ) πίεσης. Ο εναλλάκτης χαμηλής πίεσης δέχεται ως είσοδο το νερό από το Σύστημα Εξευγενισμού Συμπυκνώματος (Polishing) μέσω της αντλίας συμπυκνώματος δευτέρου σταδίου με $38^{\circ}\text{C}/27\text{bar}$ και παρέχει το νερό στην τροφοδοτική δεξαμενή με $151^{\circ}\text{C}/10\text{bar}$. Ο εναλλάκτης υψηλής πίεσης δέχεται νερό $177^{\circ}\text{C}/240\text{bar}$ από την τροφοδοτική δεξαμενή μέσω αντλίας και παρέχει νερό $250^{\circ}\text{C}/201\text{bar}$ στον οικονομητήρα.

Τροφοδοτική Δεξαμενή

Η τροφοδοτική δεξαμενή ή αλλιώς **απαεριοτής** βρίσκεται ενδιάμεσα των εναλλακτών χαμηλής και υψηλής πίεσης και εκεί γίνεται απαερίωση του νερού και επιπλέον θέρμανση. Ο απαεριοτής είναι μηχανισμός ο οποίος απομακρύνει τα αέρια από το νερό τροφοδοσίας.

Απαερίωση ονομάζουμε την απομάκρυνση από το νερό διαλυμένων αερίων, των οποίων η παρουσία προκαλεί επικίνδυνες διαβρώσεις στους σωλήνες, τύμπανα, συλλέκτες και προθερμαντήρες. Τα αέρια αυτά είναι το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, και το χλώριο. Απώτερος σκοπός της διαδικασίας είναι η αποφυγή της διάβρωσης των τοιχωμάτων των αγωγών νερού/ατμού, καθώς και των επιφανειών του αμοστρόβιλου. Κάθε φυσικό νερό περιέχει ελεύθερο ανθρακικό οξύ το οποίο μπορεί να αφαιρεθεί με θερμική απαερίωση.

Κύριο Ψυγείο

Το Κύριο Ψυγείο ή αλλιώς **συμπυκνωτής** χρησιμεύει στην συμπύκνωση του ατμού που βγαίνει από τον στρόβιλο. Ουσιαστικά είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ατμού εξόδου και του ψυκτικού μέσου. Η πίεση του ατμού στο συμπυκνωτή είναι σημαντική διότι όσο πιο χαμηλή είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική εκμετάλλευση από τον στρόβιλο,

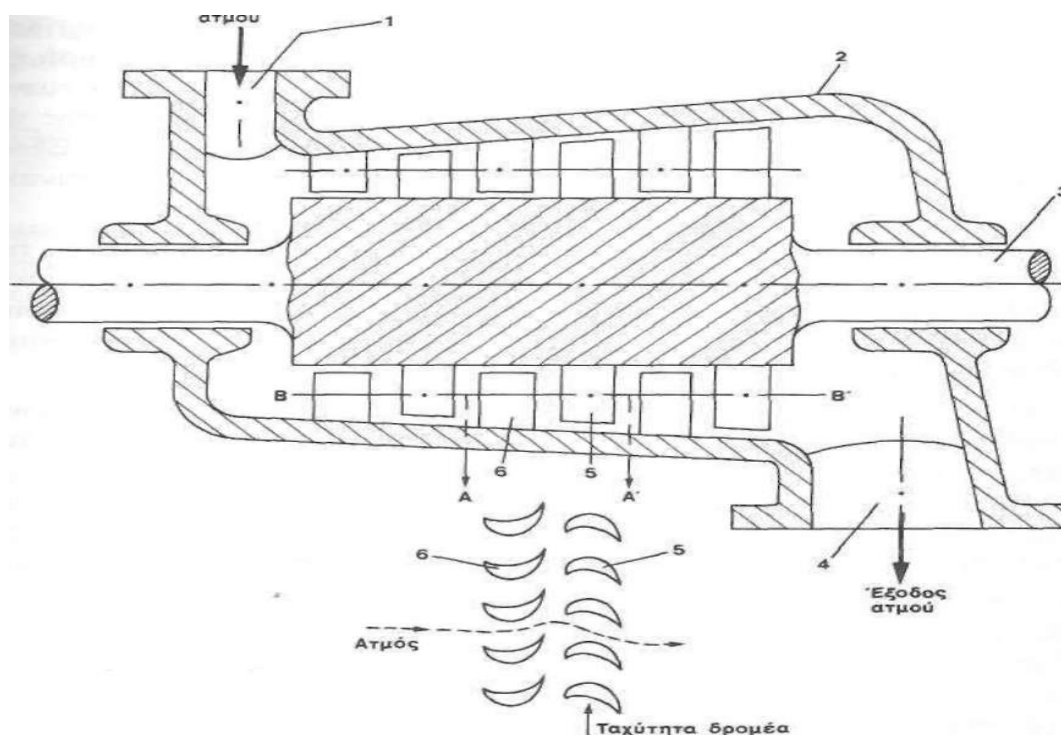
άρα τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης. Ένας συμπυκνωτής αποτελείται από τον κυρίως συμπυκνωτή, αντλίες ψυκτικού νερού, αντλίες συμπυκνώματος, συσκευές αναρρόφησης του αέρα και δημιουργίας κενού, και σωλήνες, βαλβίδες, κλπ. Η ψύξη των συμπυκνωτών στον ΑΗΣ γίνεται με κλειστό κύκλωμα νερού μέσω πύργων ψύξης.

Ατμοστρόβιλος

Ο ατμοστρόβιλος είναι το τμήμα του ΑΗΣ το οποίο εκμεταλλεύεται την θερμική ενέργεια του ατμού, μετατρέποντάς την σε μηχανική ενέργεια. Ο ατμός εκτονώνεται μέσα στον ατμοστρόβιλο, εξαναγκάζοντας την περωτή να περιστρέφεται με αποτέλεσμα την περιστροφή της άτρακτου της περωτής. Η μετατροπή ενέργειας σε κινητική γίνεται με τη βοήθεια περυγίων (οδηγών ή κινητών). Κατά τη μετατροπή της θερμικής σε κινητική ενέργεια, η δέσμη του ατμού αποκτά μεγάλη ταχύτητα. Η κινητική αυτή ενέργεια, λόγω αλλαγής της κατεύθυνσης της δέσμης του ατμού στα κινητά περύγια, δημιουργεί μια περιφερειακή δύναμη ώσης και η οποία δημιουργεί τη ροπή στρέψης στην άτρακτο του στροβίλου.

Κάθε ατμοστρόβιλος αποτελείται από δύο μέρη:

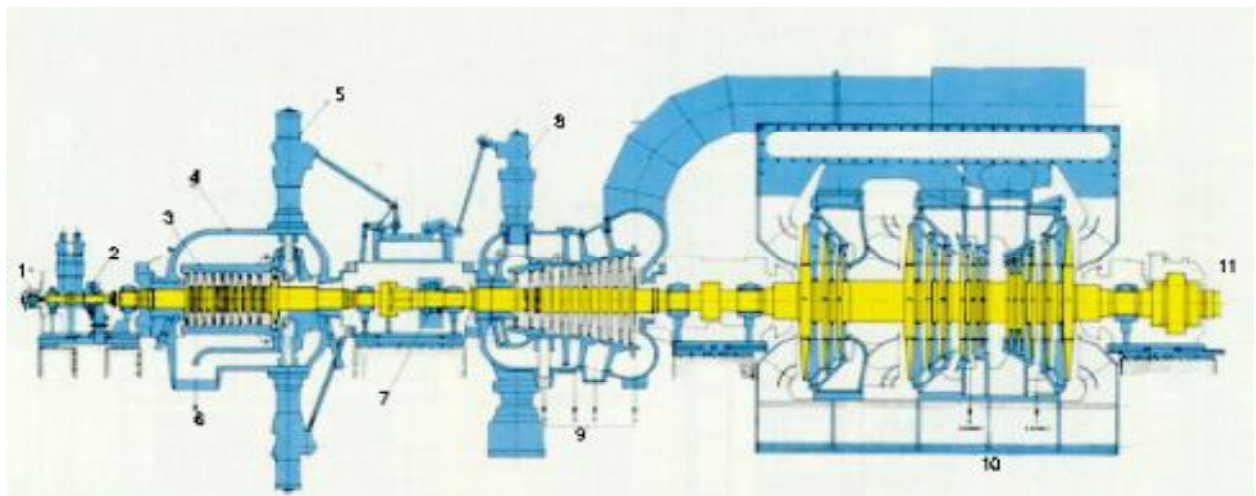
- το κέλυφος το οποίο παραμένει σταθερό και φέρει τα σταθερά περύγια ή τα ακροφύσια. Αυτά προσάγουν τον ατμό προς τον δρομέα, και παράλληλα μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια του ατμού σε κινητική, με αποτέλεσμα την πτώση της πίεσής του.
- την κινητή στεφάνη (δρομέας ή περωτή) με τα κινητά περύγια. Εδώ πραγματοποιείται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ατμού σε κινητική της άτρακτου, ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε μηχανικό έργο υπό μορφή κίνησης του δρομέα



Σχήμα 9. Διακρίνονται: 1. στόμιο εισόδου 2. κέλυφος 3.δρομέας 4. στόμιο εξόδου 5. κινητό περύγιο 6. σταθερό (οδηγούν) περύγιο

Σε ΑΗΣ μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται πολυβάθμιοι αμοστροβίλοι. Μία βαθμίδα αποτελείται από μία σειρά σταθερών πτερυγίων και μια σειρά κινητών πτερυγίων. Με την χρήση περισσότερων βαθμίδων εκμεταλλευόμαστε καλύτερα την ενέργεια της προσπίπτουσας παροχής ατμού, δηλαδή αυξάνουμε τον θερμικό βαθμό απόδοσης του αμοστροβίλου. Υπάρχουν συνήθως τρία τμήματα: οι στροβίλοι υψηλής(ΥΠ), μέσης(ΜΠ) και χαμηλής πίεσης(ΧΠ). Κάθε τμήμα επεξεργάζεται μια ορισμένη διαφορά πίεσης.

Επειδή για την επεξεργασία της υψηλής διαφοράς πίεσης χρειάζονται πολλά ζεύγη πτερυγίων, οι στροβίλοι θα αποκτούσαν ένα τεράστιο μήκος, θα προέκυπταν μεγάλες αποστάσεις εδράνων και οι θερμοκρασιακές διαφορές στο περίβλημα θα δημιουργούσαν προβλήματα. Γι αυτό οι στροβίλοι διαιρούνται σε τρία τμήματα, με τρία περιβλήματα και τέσσερα σημεία έδρασης. Κατά την εκτόνωση του ατμού αυξάνεται ο όγκος. Έτσι, προχωρώντας στη διεύθυνση ροής του ατμού στο στροβίλο αυξάνεται και το μήκος των πτερυγίων. Για να ανταποκριθεί το σύστημα στον αυξημένο όγκο του ατμού στο τμήμα της χαμηλής πίεσης πρέπει να αυξηθεί όχι μόνο το μήκος των πτερυγίων αλλά και η διάμετρος του δρομέα. Επίσης η χαμηλή πίεση μπορεί να διαμορφωθεί σε στροβίλο διπλής ροής. Ο ατμός εισέρχεται στη μέση και εξέρχεται από τα δύο άκρα συμμετρικά. Ένας άλλος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται αμοστροβίλοι ΥΠ, ΜΠ, και ΧΠ είναι ώστε να υπάρχει δυνατότητα περισσότερων απομαστεύσεων για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Η κάθε απομάστευση γίνεται για κάποια πίεση μεταξύ της πίεσης εισόδου και εξόδου, και είναι μόνο ένα ποσοστό της ολικής παροχής ατμού που διέρχεται από τον αμοστροβίλο. Μπορεί να υπάρχουν εφτά απομαστεύσεις ή και παραπάνω συνολικά για όλες τις βαθμίδες προθέρμανσης.



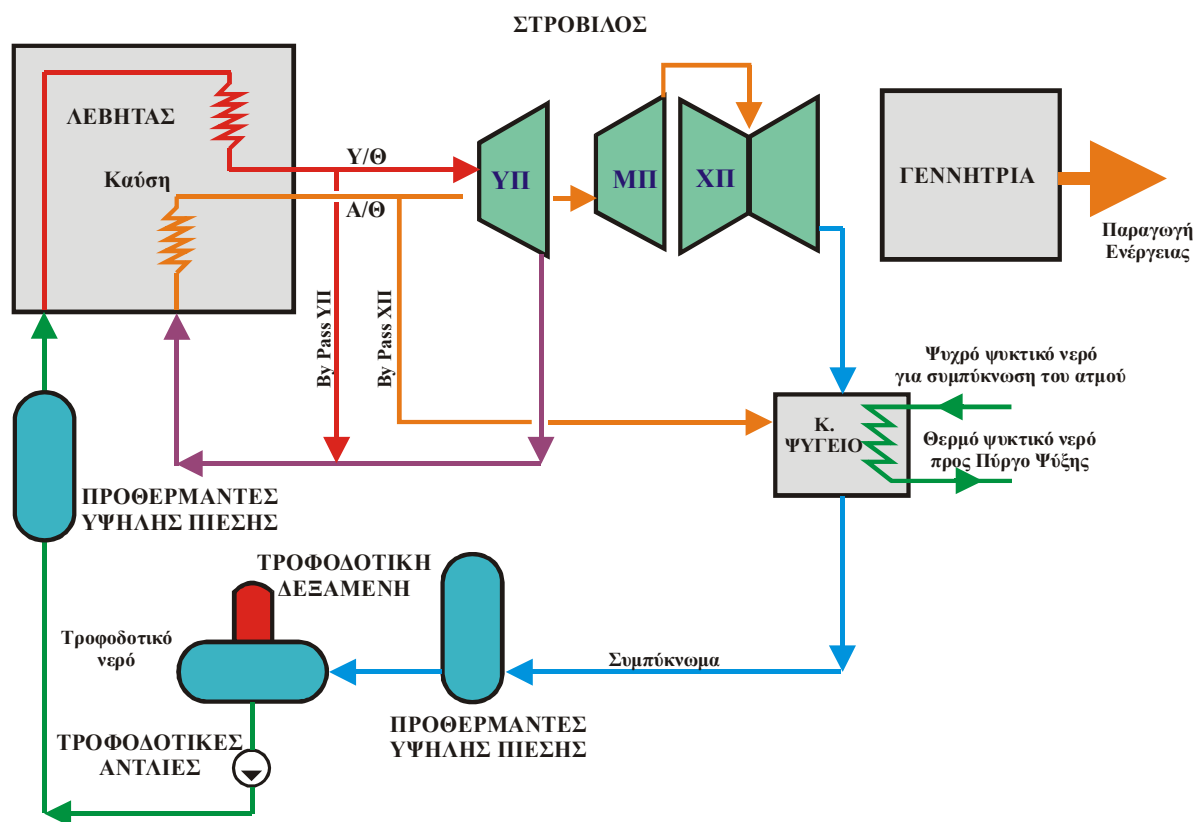
Υπόμνημα Περιγραφής Αμοστροβίλου

1. Ρυθμιστής στροφών
2. Κύρια αντλία λίπανσης
3. Εσωτερικό κέλυφος
4. Εξωτερικό κέλυφος
5. Ρυθμιστικές δικλείδες υψηλής πίεσης
6. Απομάστευση βαθμίδας υψηλής πίεσης. Έξοδος βαθμίδας υψηλής πίεσης
7. Ωστικός τριβέας
8. Ρυθμιστικές δικλείδες μέσης πίεσης
9. Απομάστευση βαθμίδας μέσης πίεσης
10. Συμπυκνωτής στροβίλου. Βαθμίδα χαμηλής πίεσης
11. Προς γεννήτρια

ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	I	II	III	IV	V
ΤΥΠΟΣ	-	TANDEM	TANDEM	TANDEM	TANDEM	TANDEM
ΣΤΡΟΦΕΣ	RPM	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ	-	3	3	3	3	3
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ	-	10+12+15	10+12+15	10+12+15	10+12+15	26+16+12
ΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ ΥΠ	bar	166.71	166.71	166.71	166.71	190.00
ΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ ΕΞΟΔΟΥ ΥΠ	bar	42.97	42.97	40.29	40.29	34.90
ΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΠ	bar	38.67	38.67	38.30	38.30	31.50
ΘΕΡΜ. ΑΤΜΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ ΥΠ	°C	540	540	540	540	536
ΘΕΡΜ. ΑΤΜΟΥ ΕΞΟΔΟΥ ΥΠ	°C	342	342	332	332	289
ΘΕΡΜ. ΑΤΜΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΠ	°C	540	540	540	540	536
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	%	45.29	45.29	45.55	45.55	46.53

Κύκλος Νερού/Ατμού

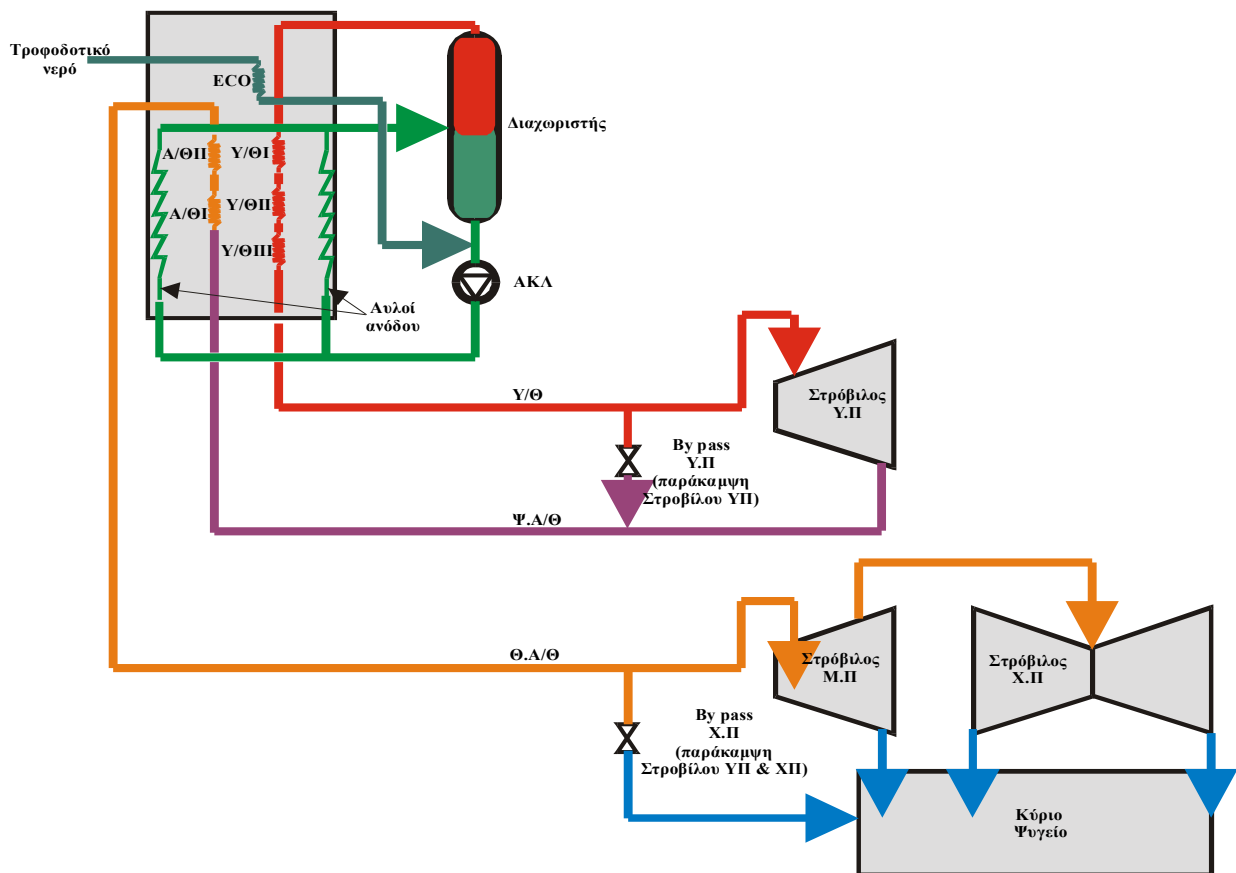
Το νερό που κυκλοφορεί στην μονάδα σε κλειστό κύκλωμα, πριν εισέλθει στον Λέβητα, προθερμαίνεται αρχικά στους προθερμαντές Χαμηλής πίεσης, ύστερα στην τροφοδοτική δεξαμενή και τέλος στους προθερμαντές Υψηλής πίεσης. Ο ατμός που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του νερού σε αυτές τις τρεις βαθμίδες λαμβάνεται από τις απομαστεύσεις του στροβίλου. Η διαδρομή που ακολουθεί το νερό είναι η εξής:



Σχήμα 10.

Αντλείται από το Κύριο Ψυγείο της Μονάδας σαν συμπύκνωμα από τις αντλίες συμπυκνώματος με 38°C/27bar και αφού διέλθει από το Polishing(Σύστημα Εξευγενισμού Συμπυκνώματος) για εξευγενισμό και από τους προθερμαντές Χαμηλής πίεσης για προθέρμανση οδηγείται στην τροφοδοτική δεξαμενή με 151°C/10bar για επιπλέον προθέρμανση και απαερίωση. Από εκεί μέσω των τροφοδοτικών αντλιών με 177°C/240bar καταθλίβεται στους προθερμαντές Υψηλής πίεσης. Ακολούθως με 250°C/201bar εισέρχεται στον Οικονομητήρα του λέβητα για να προθερμανθεί επιπλέον και εν συνεχεία οδηγείται στην αναρρόφηση της Αντλίας Κυκλοφορίας Λέβητα (ΑΚΛ) όπου αναμιγνύεται με το νερό του διαχωριστή και στην συνέχεια καταθλίβεται στους αυλούς ανόδου. Αφού θερμανθεί και φτάσει στην θερμοκρασία ατμοποίησης που αντιστοιχεί στην πίεση λειτουργίας του κυκλώματος, τότε οδηγείται υπό μορφή ατμού - νερού στον διαχωριστή.

Στον διαχωριστή γίνεται διαχωρισμός της υγρής και αέριας φάσης και η υγρή φάση οδηγείται στην αναρρόφηση της ΑΚΛ για να αναμιχθεί με το νερό που έρχεται από τον οικονομητήρα, για να οδηγηθεί εκ νέου στον λέβητα. Η αέρια φάση (ατμός) οδηγείται πλέον στον λέβητα για να υπερθερμανθεί σε τρία στάδια υπέρθερμου ατμού, στον Πρώτο Υπέρθερμο (Υ/Θ I), στον Δεύτερο (Υ/Θ II), και στον Τρίτο (Υ/Θ III). Η έξοδος του λέβητα, ο Υ/Θ ατμός οδηγείται στην πρώτη βαθμίδα του αμμοστροβίλου, τον Στρόβιλο Υψηλής Πίεσης (HP) με ατμό 540°C/170 bar. Στον Στρόβιλο HP εκτονώνεται προσφέροντας έργο το οποίο περιστρέφει τον στρόβιλο. Η έξοδος του Στροβίλου Υψηλής πίεσης (HP), είναι Ψυχρός Ανάθερμος ατμός(ΨΑ/Θ) με χαρακτηριστικά 300°C/36 bar. Ακολούθως οδηγείται στον λέβητα για να θερμανθεί στους 540 °C.



Σχήμα 11.

Υπάρχουν δύο στάδια αναθέρμανσης ο Πρώτος Ανάθερμος (Α/Θ Ι) και ο Δεύτερος Ανάθερμος (Α/Θ ΙΙ). Η έξοδος του Α/Θ ΙΙ οδηγείται στη δεύτερη βαθμίδα του στρόβιλου, τον Στρόβιλο Μέσης πίεσης (ΙΡ) και αφού εκτονωθεί οδηγείται στην Τρίτη και τελευταία βαθμίδα, στον Στρόβιλο Χαμηλής πίεσης (ΛΡ). Η έξοδος του Στρόβιλου ΛΡ οδηγείται στο Κύριο Ψυγείο με πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής (κενό) υπό μορφή υγρού ατμού όπου συμπυκνώνεται.

Σε περιπτώσεις όπου δεν έχουμε επιθυμητές τιμές θερμοκρασίας και πίεσης του ατμού που εξέρχεται από τον Υπέρθερμο, ο ατμός δεν οδηγείται στο στρόβιλο αλλά μέσω παρακαμπτηρίων βαλβίδων (Bypass High Pressure) επιστρέφει στον Πρώτο Ανάθερμο. Σε περιπτώσεις όπου δεν έχουμε επιθυμητές τιμές θερμοκρασίας και πίεσης του ατμού που εξέρχεται από τον Ανάθερμο, ο ατμός δεν οδηγείται στο στρόβιλο αλλά μέσω παρακαμπτηρίων βαλβίδων (Bypass Low Pressure) κατευθύνεται στο Κύριο Ψυγείο. Υπάρχουν συνολικά τέσσερις βαλβίδες Bypass, δύο Bypass Υψηλής Πίεσης (HP) και δύο Χαμηλής-Μέσης Πίεσης (LP).

Η συμπύκνωση του ατμού πραγματοποιείται με την ψύξη του ατμού κατά την διάρκεια της οποίας αποδίδεται θερμότητα στο ψυκτικό νερό που κυκλοφορεί στο Κύριο Ψυγείο το οποίο προφανώς θερμαίνεται. Το ψυκτικό νερό που κυκλοφορεί για να ψυχθεί οδηγείται στον Πύργο Ψύξης όπου με την σειρά του καταιονίζεται. Η ψύξη γίνεται μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα που διέρχεται από την βάση του Πύργου. Η διαδικασία όμως αυτή της ψύξης έχει σαν αποτέλεσμα την εξάτμιση μέρους του νερού προς την ατμόσφαιρα και της οποίας ο ρυθμός της είναι περίπου 2 tn νερού ανά MWh.

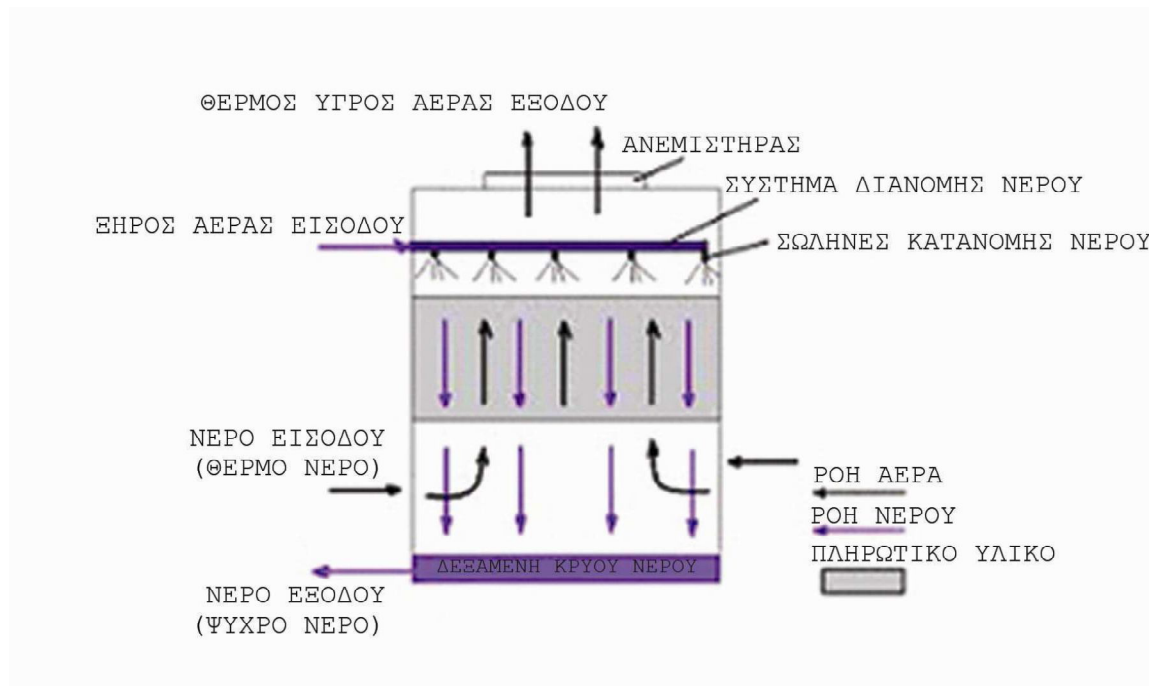
1.3 ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ

Για την συμπύκνωση του εξερχόμενου ατμού από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης, καθώς και για την ψύξη των διαφόρων βοηθητικών μηχανημάτων λειτουργεί κλειστό κύκλωμα ψύξης. Βασικό στοιχείο του ψυκτικού κυκλώματος είναι ο πύργος ψύξης, στον οποίο καταιονίζεται το θερμό νερό που επιστρέφει από το κύριο ψυγείο και τα μηχανήματα και εκτίθεται σε αντίθετα διερχόμενο ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που εισέρχεται από τη βάση του πύργου. Οι πύργοι ψύξης των Μονάδων Ι και ΙΙ έχουν ύψος 95 μέτρα, των Μονάδων ΙΙΙ και ΙV 104 μέτρα και της μονάδας V 108 μέτρα. Ας δούμε αναλυτικότερα τη λειτουργία τους.

Ο πύργος ψύξης είναι συσκευή, μέσα στην οποία έρχονται σε επαφή ένα ρεύμα αέρα περιβάλλοντος με ένα ρεύμα θερμού νερού και λαμβάνουν χώρα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Το νερό που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της χρήσης του και στη συνέχεια πρέπει να ψυχθεί για εκ νέου χρήση. Το θερμό νερό ψύχεται και από την επαφή με το ρεύμα του αέρα και λόγω της μεταφοράς θερμότητας μέσω εξάτμισης. Αυτός είναι και ο λόγος ύπαρξης του πύργου ψύξης. Ο πύργος ψύξης επιτυγχάνει σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του νερού. Μέσα στον πύργο, τα δύο ρευστά, ο αέρας περιβάλλοντος και το θερμό νερό, έρχονται σε απευθείας επαφή και μέσω της μεταφοράς θερμότητας, (που συνοδεύεται και από εξάτμιση μέρους του νερού), η θερμοκρασία του νερού μειώνεται.

Η επαφή και κατ' επέκταση η συναλλαγή θερμότητας και μάζας μεταξύ των δύο ρευμάτων αέρα νερού μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους. Κατά αντιρροή, όπου οι κατευθύνσεις των ροών αέρα και νερού είναι παράλληλες και αντίθετες(Σχ.) και με

εγκάρσια ροή, όπου είναι κάθετες μεταξύ τους. Δηλαδή στην πρώτη περίπτωση τα δύο ρεύματα ρέουν παράλληλα, ενώ στη δεύτερη διασταυρώνονται. Ακόμα, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του αέρα μέσα σε έναν πύργο, οι ψυκτικοί πύργοι διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: στους πύργους φυσικής κυκλοφορίας (natural draft cooling towers) και στους πύργους μηχανικής ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (mechanical draft cooling towers). Οι πύργοι ψύξης μηχανικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται στις μικρού και μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις και για τους δυο τρόπους επαφής των δύο ρευμάτων αέρα νερού (αντιρροή των δύο ρευμάτων και εγκάρσια ροή).



Σχήμα 12. Πύργος Ψύξης Αντιρροής

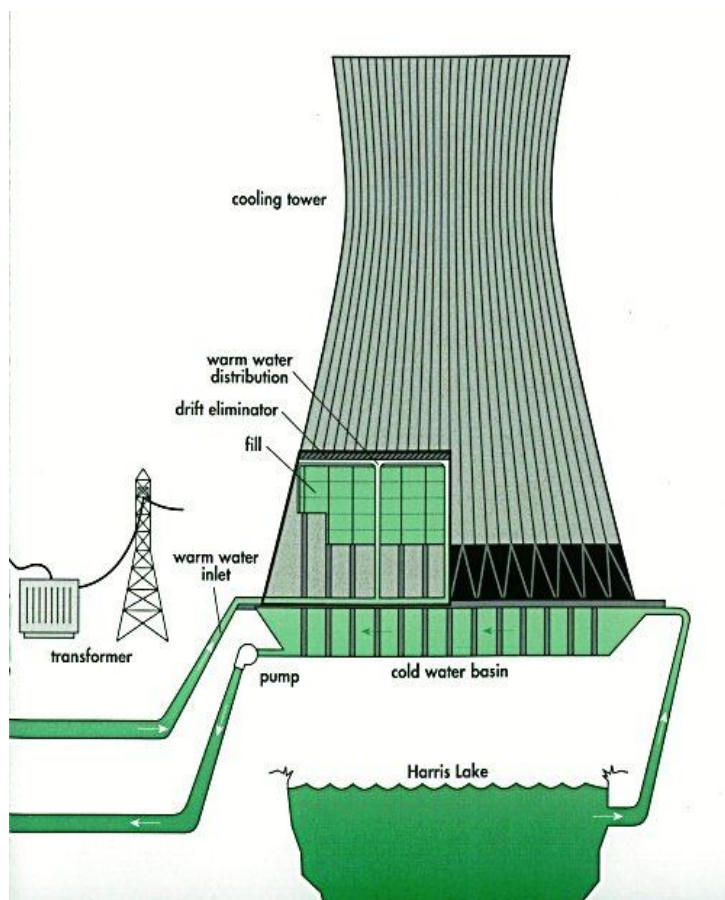
Από την άλλη πλευρά, οι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις. Η λειτουργία των πύργων φυσικής κυκλοφορίας βασίζεται στη ροή λόγω διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του ψυχρού αέρα εισόδου και του θερμού αέρα εξόδου. Η ταχύτητα του αέρα σε αυτούς τους πύργους ψύξης κυμαίνεται μεταξύ 1.5-2 m/s. Γενικότερα στους ΑΗΣ και ειδικότερα στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου χρησιμοποιούνται πύργοι ψύξης φυσικής κυκλοφορίας αντιθέτων ρευμάτων (αντιρροής).

Οι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας λειτουργούν με την κίνηση του αέρα λόγω του φυσικού ελκυσμού. Ο αέρας στο εσωτερικό του πύργου θερμαίνεται, γίνεται ελαφρύτερος και ανεβαίνει προς τα πάνω συμπαρασύροντας και τον υδρατμό που σχηματίζεται από την εξάτμιση του νερού. Η συνθήκη αυτή πρέπει να εμφανίζεται οπωσδήποτε, γιατί χωρίς αυτή δε μπορούν να λειτουργήσουν οι πύργοι με φυσική κυκλοφορία αέρα. Οι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας κατασκευάζονται σε πολύ μεγάλες διαστάσεις για μεγάλες ισχύεις. Η μορφή τους έχει σχήμα υπερβολοειδούς εκ περιστροφής. Οι πύργοι του είδους αυτού κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι διαστάσεις τους φθάνουν μέχρι 75 m σε διάμετρο βάσης και μέχρι και 120 m σε ύψος.

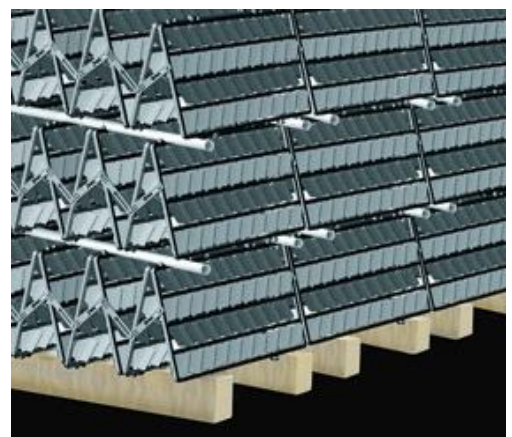
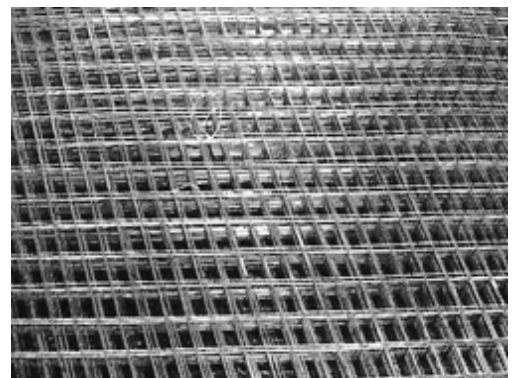
Όσον αφορά την λειτουργία της ψύξης, αυτή γίνεται ως εξής : στο κέντρο του πύργου ψύξης διαμετρικά υπάρχουν φύλλα διασκορπισμού, δηλαδή ειδικές λεκάνες με οπές. Το

θερμό νερό εισέρχεται στον πύργο ψύξης σε ύψος 10 μέτρων και κατευθύνεται στο κέντρο του, όπου βρίσκονται τα φύλλα διασκορπισμού. Έπειτα ισοκατανέμεται και διαχωρίζεται σε σταγόνες μέσω των οπών και εν συνεχεία οι σταγόνες διασκορπίζονται στο εσωτερικό του πύργου. Αέρας από το περιβάλλον έρχεται σε επαφή με το θερμό νερό και ως εκ τούτου κάποιες σταγόνες νερού εξατμίζονται. Το εξατμιζόμενο νερό απορροφά ένα ποσό λανθάνουσας θερμότητας από το υπόλοιπο νερό, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα το νερό που μένει να ψύχεται. Ακόμα, ο διερχόμενος αέρας απορροφά ένα ποσό αισθητής θερμότητας από το θερμό νερό. Το νερό που χάνεται λόγω εξάτμισης υπολογίζεται μετρώντας τη στάθμη του νερού στη δεξαμενή και συμπληρώνεται όσο χρειάζεται μέσω βάνας. Οι σταγόνες, έπειτα, συσσωρεύονται στο κάτω μέρος του πύργου ψύξης όπου υπάρχει η λεκάνη του πύργου. Από τη λεκάνη αυτή το αναρροφά η αντλία ανακυκλοφορίας, η οποία το ξαναστέλνει στα φύλλα διαχωρισμού για περαιτέρω ψύξη.

Ταυτόχρονα το νερό από τη λεκάνη τροφοδοτείται μέσω αντλίας πίσω στο κύριο ψυγείο για να ξεκινήσει η διαδικασία από την αρχή. Το μέγεθος των σταγόνων του νερού που ψεκάζεται μέσα στον πύργο έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργία του πύργου. Αν οι σταγόνες είναι πολύ μικρές, παρασύρεται μεγαλύτερη ποσότητα νερού από το ρεύμα αέρα. Από την άλλη πλευρά, αν οι σταγόνες του νερού είναι πολύ μεγάλες, μειώνεται η επιφάνεια επαφής νερού-αέρα.



Σχήμα 13. Πύργος Ψύξης Φυσικής Κυκλοφορίας



Σχήμα 14. Φύλλα Διασκορπισμού

1.4 ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

LUVO

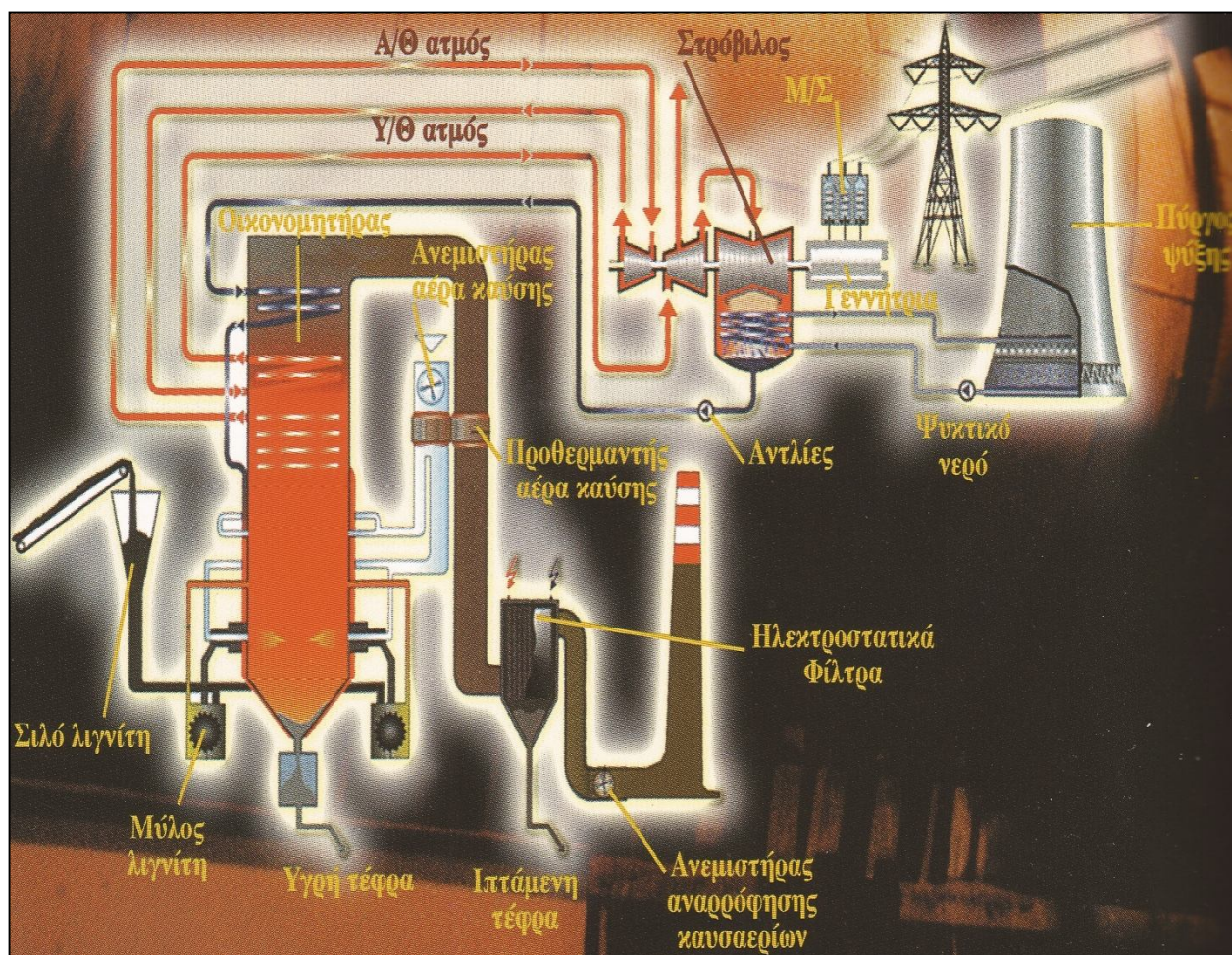
Το LUVO είναι περιστροφικός προθερμαντής αέρα καύσης. Βρίσκεται πριν την έξοδο των καυσαερίων από το σύστημα και αποτελεί το τελευταίο στάδιο εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων. Ουσιαστικά είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερη από τη θερμική ενέργεια που έχουν τα καυσαέρια που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα για να θερμάνει τον αέρα που θα χρησιμοποιηθεί στην καύση. Το LUVO, δηλαδή, τοποθετείται σε μια εγκατάσταση με σκοπό τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα, ανακυκλώνοντας κατά κάποιο τρόπο τη θερμική ενέργεια που έχει ήδη παραχθεί. Αυτό επιτυγχάνεται επιτελώντας δύο σημαντικές λειτουργίες: ψύχει τα καυσαέρια πριν αυτά αποβληθούν στην ατμόσφαιρα και αυξάνει την θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα καύσης του λέβητα. Επίσης συμβάλλει σημαντικά στην καλύτερη και ταχύτερη διεργασία καύσης, ιδίως όταν τα καύσιμα είναι μεγάλης περιεκτικότητας σε υγρασία.

Ανάλογα με την πίεση και το θερμικό κύκλο, το είδος του καυσίμου και τον τύπο του λέβητα, η μία από τις δύο λειτουργίες έχει πρωτεύουσα σημασία. Για παράδειγμα, σε ένα λέβητα υπερπίεσης με βαθμίδα αναθέρμανσης, που καίει λιγνίτη με υψηλό περιεχόμενο υγρασίας, οι υψηλές θερμοκρασίες του προθερμασμένου αέρα είναι απαραίτητες για την εξάτμιση της υγρασίας του καυσίμου πριν την καύση. Στην περίπτωση αυτή η θέρμανση του αέρα καύσης είναι η πρωτεύουσα λειτουργία. Αντίθετα, στην περίπτωση λεβήτων που καίνε πετρέλαιο ή αέριο, επειδή η προθέρμανση δεν είναι αναγκαία για την καύση του καυσίμου, η μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων είναι η πρωτεύουσα λειτουργία των προθερμαντών.

Η αναγκαιότητα εγκατάστασης προθερμαντών αυξήθηκε με τη χρήση κονιοποιημένων στερεών καυσίμων, όπως ο λιγνίτης, επειδή η χρήση προθερμασμένου αέρα καύσης επιταχύνει την ανάφλεξη και υποβοηθάει την γρήγορη και πλήρη καύση του κονιοποιημένου καυσίμου. Ο αέρας της καύσης που προθερμαίνεται είναι χρήσιμος επίσης για την ξήρανση και την μεταφορά του κονιοποιημένου καυσίμου στον λέβητα. Τα καυσαέρια εισέρχονται συνήθως στους προθερμαντές με θερμοκρασία 300°C έως 400°C και βγαίνουν με θερμοκρασία 120°C έως 180°C ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του λέβητα και το φορτίο του. Η εγκατάσταση προθερμαντών έχει σαν αποτέλεσμα μια καθαρή αύξηση στην θερμική απόδοση του συστήματος, καθώς γίνεται εκμετάλλευση μεγάλου μέρους της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων κατά την έξοδό τους από τον λέβητα. Εκτιμάται ότι για κάθε πτώση 20°C με 25°C στην θερμοκρασία των εξερχόμενων καυσαερίων έχουμε αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα κατά 1% περίπου. Η θερμική ενέργεια που ανακτάται από τα καυσαέρια προστίθεται στην θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται από την διαδικασία της καύσης και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού στον λέβητα ή στον υπερθερμαντή και άρα εξοικονομείται καύσιμο. Οι εκτιμήσεις είναι ότι οι προθερμαντές μπορούν να εξοικονομήσουν 8 έως 10% του καυσίμου αν η θερμοκρασία του αέρα της καύσης αυξηθεί κατά 150°C έως 200°C.

Το LUVO αποτελείται από ένα στρεφόμενο και ένα σταθερό τμήμα. Το στρεφόμενο τμήμα ή αλλιώς ο δρομέας, αποτελείται από θερμοαπαγωγικές κυψέλες. Ο δρομέας περιστρέφεται εναλλακτικά μεταξύ των καυσαερίων και του αέρα που πρόκειται να θερμανθεί με πολύ μικρή ταχύτητα. Με αυτό τον τρόπο ο δρομέας παίρνει θερμότητα από τα

εισερχόμενα ζεστά καυσαέρια τα οποία στη συνέχεια αποδίδει στον αέρα καύσης καθώς το θερμό τμήμα μπαίνει στο ρεύμα αέρα. Το σταθερό τμήμα του LUVO αποτελείται από δύο μέρη, ένα πάνω και ένα κάτω από το δρομέα και διαχωρίζει τα τμήματα αέρα και καυσαερίων.



Σχήμα 15. Διαδρομή καυσαερίων και αέρα καύσης

Ανεμιστήρες Κατάθλιψης και Ελκυσμού

Η διαδικασία της καύσης απαιτεί μεγάλες ποσότητες αέρα. Έτσι όλοι οι λέβητες ανεξάρτητα από το καύσιμο και την μέθοδο καύσης, χρησιμοποιούν ανεμιστήρες μηχανικού ελκυσμού. Οι ανεμιστήρες αυτοί τροφοδοτούν την εγκατάσταση με πρωτεύοντα αέρα για κονιοποίηση και την μεταφορά του καυσίμου στην εστία του λέβητα. Την τροφοδοτούν επίσης με τον δευτερεύοντα αέρα που χρειάζεται για την πλήρη καύση και απομακρύνουν τα αέρια προϊόντα της καύσης από την εστία του λέβητα. Μερικές φορές οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του ατμού. Όταν ο αέρας και τα αέρια εισέρχονται στο σύστημα σε πιέσεις υψηλότερες της ατμοσφαιρικής έχουμε σύστημα κατάθλιψης, ενώ όταν ο αέρας ή τα αέρια ελκύνονται μέσα από το σύστημα σε πίεση χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής έχουμε σύστημα ελκυσμού.

Σε ένα σύστημα κατάθλιψης, ο ανεμιστήρας καταθλίψεως είναι τοποθετημένος κοντά στην είσοδο του λέβητα και κυκλοφορεί τον αέρα της καύσης με θετική πίεση, δημιουργεί δηλαδή υπερπίεση στον λέβητα. Σε ένα σύστημα ελκυσμού, ο ανεμιστήρας ελκυσμού είναι

τοποθετημένος κοντά στην έξοδο του συστήματος και έλκει τα προϊόντα της καύσης από τον θάλαμο καύσης και στέλνει τα αέρια στην καπνοδόχο για αποβολή. Στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου χρησιμοποιούνται και τα δύο συστήματα, κατάθλιψης και ελκυσμού. Πρόκειται για τον ανεμιστήρα κατάθλιψης FDF (Forced Draft Fan) και τον ανεμιστήρα ελκυσμού IDF (Induced Draft Fan). Προκύπτει, έτσι, ένα ισορροπημένο σύστημα στο οποίο ο λέβητας λειτουργεί περίπου στην ατμοσφαιρική πίεση.

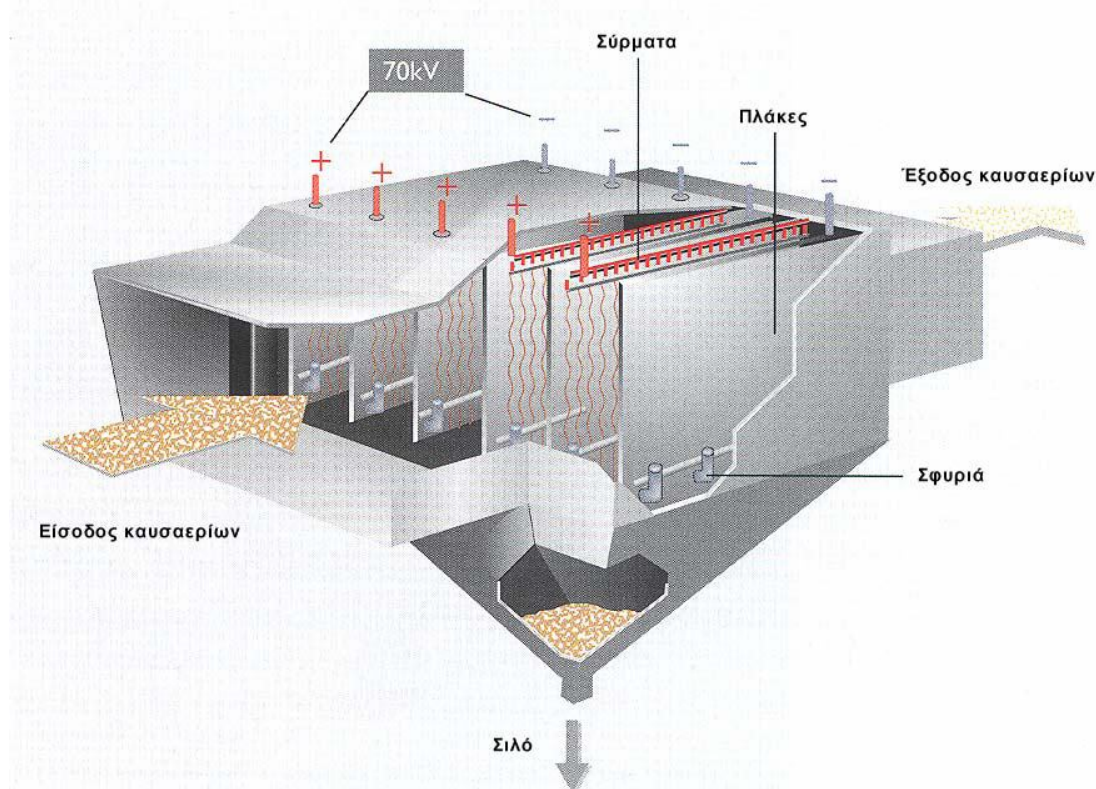
Οι FDF αναρροφούν ατμοσφαιρικό αέρα από το περιβάλλον και τον κατευθύνουν στο LUVO και συγκεκριμένα στην πλευρά του δρομέα που έχει θερμανθεί από τα καυσαέρια. Έτσι, η θερμή πλευρά του δρομέα του LUVO θερμαίνει τον ατμοσφαιρικό αέρα που παρέχεται από τους FDF. Ο θερμός πλέον αέρας κατευθύνεται αφενός στο εσωτερικό του λέβητα για ενίσχυση της θερμοκρασίας του ως αέρας καύσης και αφετέρου αναρροφάται από τους μύλους του λιγνίτη για να προθερμανθεί το καύσιμο κατά την άλεση και να απομακρυνθεί η υγρασία από αυτό σε ποσοστό έως και 80%.

Υπάρχουν δύο ανεμιστήρες FDF σε κάθε λέβητα. Είναι ανεμιστήρες αξονικής ροής, ισχύος 2,2KW και παροχής αέρα 289m³/sec. Οι FDF παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής του αέρα καύσης με χρήση πτερυγίων μεταβλητής κλίσης. Είναι συνήθως οι πιο αποδοτικοί ανεμιστήρες του συστήματος. Είναι καλά στερεωμένοι για να λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες (1500 rpm). Οι περισσότερες εγκαταστάσεις ανεμιστήρων FDF έχουν εσωτερικούς σιγαστήρες για την μείωση του θορύβου και διαφράγματα για την προστασία τους από σωματίδια που τυχόν υπάρχουν στον εισερχόμενο αέρα.

Ο ελκυσμός των καυσαερίων προς τις καμινάδες γίνεται με τη βοήθεια δύο ανεμιστήρων ελκυσμού IDF. Οι ανεμιστήρες IDF χρησιμοποιούνται για την απαγωγή των προϊόντων της καύσης από τον λέβητα. Τοποθετούνται στους λέβητες που λειτουργούν με υποπίεση εστίας και συνδυάζονται με τον ελκυσμό της καπνοδόχου για την αντιστάθμιση των πτώσεων πίεσης στο σύστημα απαγωγής των αερίων. Οι IDF είναι ανεμιστήρες αξονικής ροής, ισχύος 2,5MW και παροχής 525m³/sec. Επειδή μέσα από τους ανεμιστήρες ελκυσμού περνάνε θερμά καυσαέρια (120°C έως 180°C), τα οποία πολλές φορές περιέχουν μεγάλες ποσότητες τέφρας, έχουν ισχυρότερη και πιο χονδροειδή κατασκευή από τους ανεμιστήρες κατάθλιψης. Έτσι, η ζυγοστάθμισή τους είναι δυσκολότερη και για τον λόγο αυτό λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες (400-600 rpm). Ο δρομέας ενός ανεμιστήρα IDF ζυγίζει περί τους 60 τόνους.

1.5 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

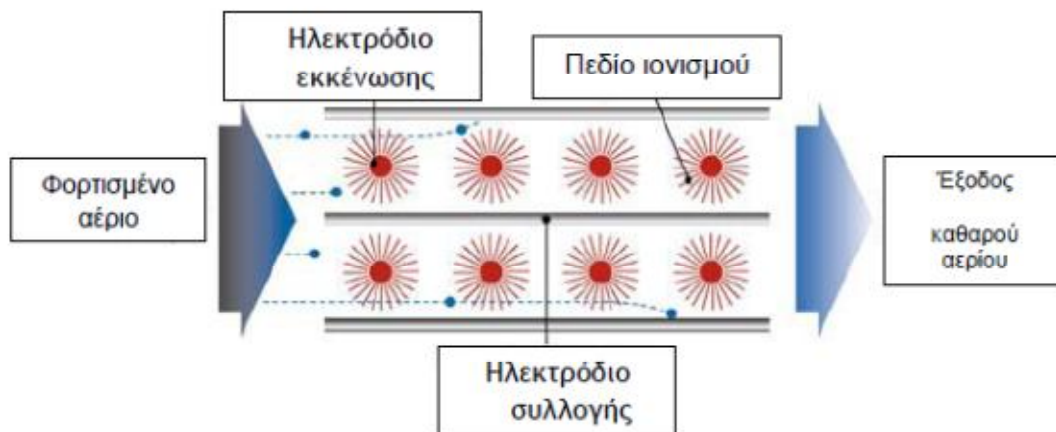
Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (Η.Φ.) είναι συσκευές καθαρισμού βιομηχανικών αερίων από αιωρούμενα σωματίδια. Αποτελούν μέτρο αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ύστερα από τη θέσπιση των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (Best Available Techniques) της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την μείωση των εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά καθώς μπορούν να απομακρύνουν μέχρι και 99% τα σωματίδια από τα απαέρια και την ιπτάμενη τέφρα. Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο τοποθετείται στην εγκατάσταση μετά το LUVO και πριν από τον καπναγωγό και τον ανεμιστήρα ελκυσμού. Αποτελείται από ένα περίβλημα με χροανοειδή βάση, αγωγούς εισόδου και εξόδου των καυσαερίων και ένα θάλαμο συλλογής. Τα σωματίδια παρασύρονται από την ροή του αερίου το οποίο διέρχεται μέσα από το θάλαμο συλλογής που περιέχονται ηλεκτρόδια σε κατάλληλη διάταξη. Τα ηλεκτρόδια εκπομπής είναι τα αρνητικά ηλεκτρόδια και έχουν τη μορφή λεπτού σύρματος. Τα ηλεκτρόδια συλλογής είναι τα θετικά φορτισμένα ηλεκτρόδια και έχουν τη μορφή πλάκας.



Σχήμα 16. Κατασκευαστική Δομή Ηλεκτροστατικού Φίλτρου

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτροστατικού φίλτρου βασίζεται στις ηλεκτρικές ιδιότητες της σκόνης και στον ηλεκτροστατικό διαχωρισμό. Ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός (electrostatic precipitation) είναι μία φυσική διαδικασία κατά την οποία ένα σωματίδιο αιωρούμενο σε ένα ρεύμα αέρα φορτίζεται ηλεκτρικά και υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου, διαχωρίζεται από την αέρια μάζα. Το σύστημα που πραγματοποιεί αυτή τη διαδικασία αποτελείται από μια θετικά φορτισμένη επιφάνεια (γειωμένη επιφάνεια συγκέντρωσης) τοποθετημένη απέναντι από ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο (ηλεκτρόδιο εκπομπής). Στο ηλεκτρόδιο εκπομπής εφαρμόζεται μία υψηλή συνεχής τάση, από 40 kV μέχρι 100 kV, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο εκπομπής και στη γειωμένη επιφάνεια. Συνήθεστερα η τάση αυτή είναι αρνητική λόγω της

μεγαλύτερης τεχνολογικής ευκολίας που υπάρχει για την επίτευξη και διατήρησή της. Στην άμεση γειτονιά του ηλεκτροδίου εκπομπής (αρνητική τάση) λόγω της μεγάλης κλίσης της τάσης (μεγάλη ένταση ηλεκτρικού πεδίου) τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αερίου επιταχύνονται, αποκτούν σύντομα υψηλές ταχύτητες και προσκρούουν στα μόρια του αερίου τα οποία και ιονίζουν αποσπώντας από αυτά ηλεκτρόνια. Έτσι στη γειτονιά του ηλεκτροδίου εκπομπής δημιουργείται το φαινόμενο κορώνας, που στο σκοτάδι φαίνεται ως αμυδρό μπλέ φως, το οποίο αποτελεί πηγή ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου οδεύουν προς το ηλεκτρόδιο συλλογής.



Σχήμα 17. Απεικόνιση λειτουργίας Ηλεκτροστατικού Φίλτρου

Τα θετικά ιόντα αερίου που δημιουργήθηκαν στη περιοχή της κορώνας οδεύουν προς το ηλεκτρόδιο εκπομπής και αποφορτίζονται. Έξω από την μικρή περιοχή κορώνας τα ηλεκτρόνια με σχετικά μικρότερες ταχύτητες λόγω συγκρούσεων αλλά και έντασης ηλεκτρικού πεδίου (μικρότερης πεδιακής έντασης) προσπίπτουν είτε πάνω στα μόρια του αερίου είτε στα σωματίδια και προσκολλώνται σε αυτά φορτίζοντάς τα αρνητικά. Επίσης τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα του αερίου κινούμενα προς τη πλάκα συλλογής προσκολλώνται πάνω στα σωματίδια σκόνης του αερίου. Τα σωματίδια της σκόνης φορτίζονται, είτε από βομβαρδισμό ιόντων, καθώς αυτά κινούνται υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου, είτε από διάχυση ιόντων. Και οι δύο τρόποι φόρτισης λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Το μέγεθος του σωματιδίου καθορίζει ποιός τρόπος φόρτισης υπερισχύει. Όταν η τάση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια αυξηθεί πολύ, μεγαλώνει η έκταση της "κορώνας" και επομένως ο χώρος όπου συμβαίνει διάσπαση και ιονισμός των αερίων.

Η αύξηση του αριθμού των ιόντων στην περίπτωση αυτή, δημιουργεί ένα ιονισμένο μονοπάτι ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια, με συνέπεια την εμφάνιση σπινθήρα. Όταν στο σύνολο των ηλεκτροδίων του φίλτρου εμφανισθούν σπινθήρες, η απόδοση συλλογής των σωματιδίων μειώνεται δραστικά, ενώ δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για ηλεκτρική διάβρωση των ηλεκτροδίων. Συνεπώς η εμφάνιση ηλεκτρικών σπινθήρων μεταξύ ηλεκτροδίου εκπομπής και συλλογής αποτελεί το κριτήριο της μέγιστης επιβαλλόμενης αρνητικής τάσης στο ηλεκτρόδιο εκπομπής. Τα σωματίδια φορτίζονται κυρίως από τα αρνητικά ιόντα του αερίου και κινούνται προς το γειωμένο ηλεκτρόδιο συλλογής, όπου και προσκολλώνται. Τα πολύ μικρά σωματίδια μπορούν να απορροφήσουν μόνον μερικές δεκάδες ηλεκτρονίων πριν φθάσουν στην οριακή τους φόρτιση, ενώ τα μεγάλα σωματίδια ($D > 10 \mu\text{m}$) μπορούν να απορροφήσουν δεκάδες χιλιάδες. Έτσι τα πολύ μικρά σωματίδια είναι

περισσότερο δύσκολο να φορτισθούν ικανοποιητικά με συνέπεια οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις που εφαρμόζονται πάνω σε αυτά να είναι μικρότερες και να μη μπορούν να διαχωρισθούν αποδοτικά από τα απαέρια. Τα σωματίδια συσσωρεύονται πάνω στις πλάκες συλλογής, αποφορτίζονται σταδιακά και δημιουργούν ένα στρώμα σκόνης-κρούστας που παρουσιάζει ηλεκτρική αντίσταση στη ροή των ηλεκτρονίων προς τη πλάκα συλλογής.

Ένα δυσμενές φαινόμενο που μπορεί να εμφανισθεί κατά τη λειτουργία του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι αυτό της "ανάστροφης κορώνας". Στη περίπτωση αυτή, που εμφανίζεται σε σκόνη μεγάλης ειδικής αντίστασης, τα ηλεκτρικά φορτία των σωματιδίων που συλλέγονται στις πλάκες συλλογής δεν απομακρύνονται γρήγορα προς τη γείωση αφενός λόγω της μεγάλης ειδικής αντίστασης του στρώματος σκόνης που έχει δημιουργηθεί και αφετέρου λόγω της καθυστερημένης απομάκρυνσης των σωματιδίων από τις επιφάνειες συγκέντρωσης αυτών. Αποτέλεσμα είναι η σημαντική αύξηση της πτώσης του ηλεκτρικού δυναμικού στην κρούστα και τελικά η δημιουργία ρεύματος διαπήδησης στο στρώμα της σκόνης και η απελευθέρωση θετικών ιόντων από την πλάκα συλλογής προς το ρεύμα των απαερίων. Τα θετικά αυτά ιόντα οδεύοντα προς τα ηλεκτρόδια εκπομπής μειώνουν-ουδετεροποιούν τα φορτισμένα σωματίδια λόγω συγκρούσεων και έτσι μειώνουν την ικανότητα συλλογής του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

Τα ηλεκτρόδια συλλογής περιοδικά καθαρίζονται με κρούση από ένα σύστημα σφυριών ώστε να απελευθερώνεται το στρώμα σκόνης και να συλλέγεται μέσα στις χοάνες σαν μία συσσωρευμένη μάζα. Στην περίπτωση που τα σωματίδια είναι υγρά, η συλλογή των σωματιδίων γίνεται με έκπλυση του θετικού ηλεκτροδίου(πλάκας) με νερό. Στην έξοδο της βάσης της χοάνης (σιλό) η συλλεγόμενη σκόνη μεταφέρεται από διάφορα μηχανικά ή πνευματικά συστήματα μεταφοράς.

Οι βασικοί παράγοντες για την τοποθέτηση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι ο όγκος των καυσαερίων που θα καθαριστεί καθώς επίσης και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά διαχωρισμού των καυσαερίων γνωστά ως τιμή W ή ταχύτητα « εκφυγής ». Ένας ακόμη αποφασιστικός παράγοντας είναι η ηλεκτρική αντίσταση της σκόνης. Προβληματικές συνθήκες διαχωρισμού υπάρχουν όταν η ειδική αντίσταση της σκόνης είναι μεγάλη.

Η ηλεκτρική αντίσταση της σκόνης αλλάζει εξαρτώμενη από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Θερμοκρασία καυσαερίων: Αν η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων αυξηθεί αυτό θα οδηγήσει σε μια αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης της σκόνης και κατά συνέπεια την μείωση της ικανότητας διαχωρισμού. Παράλληλα η διηλεκτρική αντοχή των καυσαερίων μειώνεται. Αυτό πάλι έχει συνέπεια η εφαρμοζόμενη τάση να πρέπει να μειωθεί.
- Περιεκτικότητα σε υγρασία: Μια αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία βελτιώνει τη διηλεκτρική αντοχή των καυσαερίων. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή υψηλότερης τάσης στα ηλεκτρόδια. Με αυτό τον τρόπο η απόδοση του Η.Φ. βελτιώνεται.
- Διαστάσεις των σωματιδίων σκόνης: Οι διαστάσεις των σωματιδίων επηρεάζουν με διάφορους τρόπους την ικανότητα διαχωρισμού. Οι σκόνες με λεπτά σωματίδια είναι πιο δύσκολο να αφαιρεθούν από τα ηλεκτρόδια και από την ύπαρξη επικαθημάτων σκόνης η απόδοση του φίλτρου μειώνεται.

Παροχή Υψηλής Τάσης

Τροφοδοσία: Η εγκατάσταση υψηλής τάσης αποτελείται κυρίως από το Μ/Σ υψηλής τάσης, που ανεβάζει την τάση πρωτεύοντος από 380/500/600 V σε μια μέση τιμή 45.000-60.000 V, και τον εγκαταστημένο μετά ανορθωτή σε γέφυρα εναλλασσόμενου ρεύματος ο οποίος παρέχει DC τάση. Ο Μ/Σ και ο ανορθωτής είναι τοποθετημένοι σε κοινή δεξαμενή λαδιού. Προστατευτικά πηνία στραγγαλισμού απαιτούνται ωστόσο για περιορισμό του ρεύματος. Τα πηνία στραγγαλισμού τοποθετούνται στην κοινή δεξαμενή λαδιού για τον Μ/Σ και τον ανορθωτή, αν έχουμε να κάνουμε με χωρητικότητα μεγαλύτερη από 400mA. Η παραγόμενη θερμότητα λόγω απωλειών γενικά εκπέμπεται στον περιβάλλοντα αέρα μέσω των νευρώνων ψύξης της δεξαμενής λαδιού. Είναι επίσης δυνατό να παραδοθεί σύστημα ψύξης με κυκλοφορία λαδιού / νερού.

Αυτόματο σύστημα ελέγχου υψηλής τάσης: Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα είναι εφοδιασμένα με ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου που ελέγχει τον αριθμό και την ένταση των σπινθηρισμών συλλέκτη. Στα ηλεκτροστατικά φίλτρα χρησιμοποιούνται σαν όργανα ελέγχου θυρίστορ σε αντιπαράλληλα κυκλώματα. Το θυρίστορ έχει ειδικά πλεονεκτήματα εξαιτίας του γρήγορο ελέγχου του. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα πλησιάζουν τη βέλτιστη ικανότητα διαχωρισμού όταν λειτουργούν κοντά στην τάση σπινθηρισμού. Η τάση σπινθηρισμού δεν είναι σταθερή, αλλά ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του ηλεκτροστατικού φίλτρου (πυκνότητα, φύση και χαρακτηριστικά της σκόνης, θερμοκρασία, πίεση, υγρασία των καυσαερίων κτλ. Για να επιτύχουμε βέλτιστη απόδοση, η τροφοδοσία υψηλής τάσης πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να «ακολουθεί» τις διακυμάνσεις της τάσης σπινθηρισμού όσο πιστότερα γίνεται, αποφεύγοντας όσο είναι δυνατό τη δημιουργία τόξων.

Βοηθητικός Εξοπλισμός

Θέρμανση μονωτήρα: Οι μονωτήρες υψηλής τάσης που φέρουν ολόκληρο το σύστημα εκφόρτισης, τοποθετούνται στις δοκούς υποστήριξης της στέγης. Δεν εκτίθενται στην απευθείας ροή καυσαερίων, αλλά θερμαίνονται έμμεσα από αυτή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το φιλμ υγρασίας που παράγεται στην επιφάνεια των μονωτήρων, κατά την εκκίνηση από κρύα κατάσταση, να στεγνώνει πολύ αργά. Έτσι, μέρος του δευτερεύοντος ρεύματος ή και ολόκληρο το ρεύμα περνά από την επιφάνεια του μονωτήρα χωρίς να έχει γίνει εκμετάλλευση του. Εκτός από διαταραγμένο διαχωρισμό σκόνης, αυτό μπορεί να οδηγήσει και σε ζημιές στους μονωτήρες. Για να αποφύγουμε αυτά τα μειονεκτήματα, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα είναι εφοδιασμένα με μια συσκευή θέρμανσης (αντίσταση) των μονωτήρων, που ελέγχεται μέσω θερμοστάτη. Κάθε στοιχείο θέρμανσης έχει ισχύ περίπου 1000 W. Ο αριθμός των αντιστάσεων καθορίζεται από το μέγεθος του φίλτρου. Η θέρμανση του μονωτήρα επιτρέπει στο φίλτρο να μπει σε λειτουργία κατά την εκκίνηση της εγκατάστασης, ώστε ακόμη και στη φάση της εκκίνησης να μην υπάρχει αυξημένη εκπομπή σκόνης. Αυτό σημαίνει ότι οι αντιστάσεις θέρμανσης των μονωτήρων, θα πρέπει να ενεργοποιούνται τουλάχιστον 12 ώρες πριν αρχίσει να λειτουργεί το φίλτρο.

Θέρμανση χοανών: Οι χοάνες συλλογής της σκόνης στο κάτω μέρος του ηλεκτροστατικού φίλτρου επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη διεύθυνση ροής των καυσαερίων. Αυτό οδηγεί σε συμπύκνωση, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει τσιμεντοποίηση και κλείσιμο των εξόδων των χοανών. Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να εξαλειφθεί με μια εγκατάσταση θέρμανσης στην έξοδο των χοανών. Αυτό μπορεί να γίνει με

ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης ή ακόμη με προ θερμαντήρες ατμού. Αφού η θέρμανση των χοανών πρέπει να ξεκινήσει πριν την εκκίνηση της εγκατάστασης οι προ θερμαντήρες ατμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε σταθμούς παραγωγής με πολλές μονάδες ή και από βοηθητικούς λέβητες.

1.6 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Γενική δομή των σύγχρονων γεννητριών

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις σύγχρονες και τις ασύγχρονες ή επαγωγικές μηχανές. Οι σύγχρονες μηχανές, αντίθετα από τις επαγωγικές, χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες. Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, όλων των κατηγοριών, έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Σύμφωνα μ' αυτή, ο δρομέας του κινητήρα στρέφεται από τη ροπή, η οποία τείνει να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία του αναπτύσσουν τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα. Αν το μαγνητικό πεδίο του στάτη μπορούσε να στραφεί, τότε η αναπτυσσόμενη ροπή θα ανάγκαζε το δρομέα να ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Επομένως, η λειτουργία όλων μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος στηρίζεται στη δυνατότητα παραγωγής από το τυλίγμα του στάτη ενός στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Στις σύγχρονες μηχανές η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι ίση με την ταχύτητα που στρέφεται το πεδίο του στάτη. Αντίθετα, στις ασύγχρονες μηχανές, η ταχύτητα του δρομέα είναι μικρότερη από εκείνη του στρεφόμενου πεδίου του στάτη και εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου.

Οι σύγχρονες γεννήτριες ή αλλιώς εναλλακτήρες είναι σύγχρονες μηχανές που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η συχνότητα της τάσης εξόδου της σύγχρονης γεννήτριας προσδιορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της. Μια απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει μια σύγχρονη γεννήτρια είναι η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα της με συνεχές ρεύμα. Αυτό το ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται παίρνοντας κίνηση από κάποια εξωτερική κινητήρια μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του.

Τελικά, το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει τριφασική τάση στα τυλίγματα του στάτη, η οποία εμφανίζεται στην έξοδο της μηχανής. Η τάση που αναπτύσσεται στο εξωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της και από την μαγνητική ροή στο εσωτερικό της. Δεδομένου ότι το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερό στην γεννήτρια, η παραγόμενη τάση εξαρτάται αποκλειστικά από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα.

Ο δρομέας μιας σύγχρονης γεννήτριας μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας ηλεκτρομαγνήτης μεγάλων διαστάσεων. Κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα με σκοπό την μείωση των απωλειών εξαιτίας των δινορρευμάτων. Η ανάπτυξη δινορρευμάτων στο εσωτερικό του οφείλεται στο ότι ο δρομέας εκτίθεται σε συχνές μεταβολές του μαγνητικού του πεδίου. Ακόμη, ο δρομέας στις σύγχρονες γεννήτριες θα πρέπει να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Επειδή όμως, ο δρομέας περιστρέφεται, είναι ανάγκη να αναπτυχθεί κάποιος ειδικός τρόπος τροφοδοσίας του τυλίγματός του. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι τροφοδοσίας του δρομέα είναι:

- με τροφοδοσία από εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, οπότε ο δρομέας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ψήκτρες και δαχτυλίδια

- με τροφοδοσία από ειδική πηγή συνεχούς ρεύματος τοποθετημένη πάνω στον άξονα της γεννήτριας.

Τα μεταλλικά δαχτυλίδια της γεννήτριας καλύπτουν όλη την περίμετρο του άξονά της και μονώνονται ηλεκτρικά από αυτόν. Συνήθως το ένα άκρο του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται στο πρώτο από τα δύο δαχτυλίδια και το άλλο άκρο στο δεύτερο. Οι ψήκτρες τοποθετούνται, ώστε να εφάπτονται μια στο κάθε δαχτυλίδι. Έτσι με τη σύνδεση του θετικού και του αρνητικού άκρου στην εκάστοτε ψήκτρα επιτυγχάνεται η συνεχής τροφοδοσία του δρομέα. Εντούτοις, η χρήση ψηκτρών παρουσιάζουν μειονεκτήματα αφενός λόγω φθορών τριβής, αφετέρου λόγω απωλειών ισχύος από την πτώση τάσης στις ψήκτρες.

Σε μεγαλύτερες γεννήτριες χρησιμοποιούνται διεγέρτριες μηχανές χωρίς ψήκτρες για να τροφοδοτήσουν με συνεχές ρεύμα το δρομέα της γεννήτριας. Αυτές οι διεγέρτριες μηχανές είναι μικρές γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος των οποίων το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από το στάτη της κύριας γεννήτριας, ενώ το κύκλωμα οπλισμού τους τοποθετείται στον άξονα του δρομέα. Η τριφασική έξοδος της διεγέρτριας ανορθώνεται από έναν τριφασικό ανορθωτή που βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής και το συνεχές ρεύμα εξόδου του ανορθωτή οδηγείται στο τυλίγμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας. Με αυτή τη μέθοδο μπορεί να ρυθμιστεί το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας μεταβάλλοντας απλά το συνεχές ρεύμα διέγερσης της διεγέρτριας που βρίσκεται πάνω στο στάτη και έχει πολύ μικρότερη τιμή. Για να γίνει, όμως, η διαδικασία τροφοδοσίας του δρομέα εντελώς ανεξάρτητη από εξωτερικές πηγές, μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα μια προδιεγέρτρια μηχανή. Αυτή είναι μια μικρή γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος με δρομέα που διαθέτει μόνιμους μαγνήτες και τοποθετείται στον άξονα της σύγχρονης γεννήτριας. Η προδιεγέρτρια παράγει τριφασική τάση που ανορθώνεται και τροφοδοτεί τη διέγερση της διεγέρτριας, η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί το δρομέα της σύγχρονης γεννήτριας. Έτσι, η γεννήτρια δεν έχει ανάγκη από εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

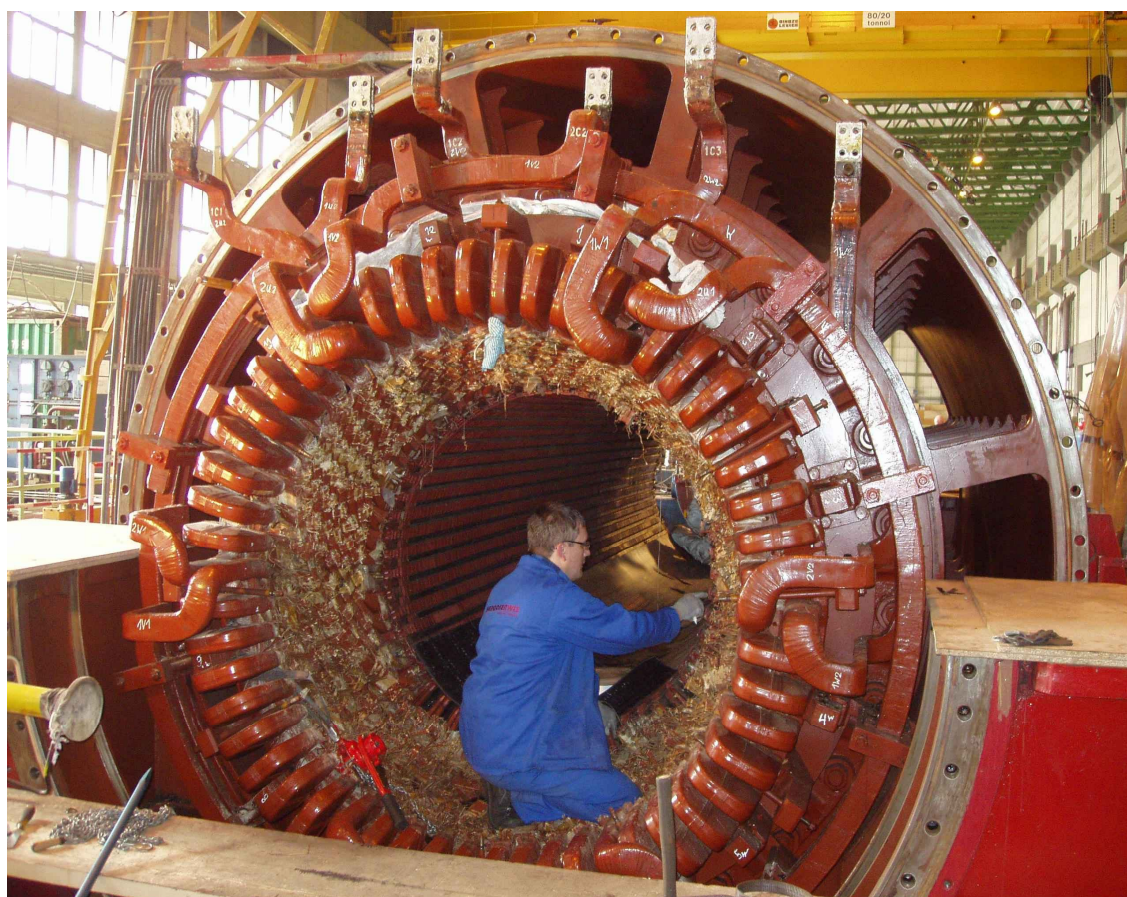
Γεννήτριες ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Σε έναν ΑΗΣ, ο μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει την μηχανική ενέργεια της ατράκτου του ατμοστροβίλου σε ηλεκτρική ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρικού ρεύματος είναι μια σύγχρονη γεννήτρια. Η άτρακτος της γεννήτριας συνδέεται με την άτρακτο του ατμοστροβίλου. Η περιοχή στροφών της γεννήτριας περιορίζεται από την απαιτούμενη συχνότητα του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Οι γεννήτριες όλων των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι σύγχρονες διπολικές, η δε παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι τάσεως 21KV και συχνότητας 50Hz. Ο δρομέας της γεννήτριας, μαζί με τις διατάξεις διέγερσης που θα αναλυθούν παρακάτω, είναι προσαρμοσμένος στον άξονα του στροβίλου ο οποίος περιστρέφεται με ταχύτητα 3000στρ./λεπτό. Συνεπώς, επειδή το σύστημα στροβίλου-γεννήτριας είναι συμπλεγμένο σε κοινό άξονα, οι όποιες επεμβάσεις για ρύθμιση και έλεγχο των στροφών της γεννήτριας πραγματοποιούνται στο στρόβιλο.

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	ΜΟΝΑΔΑ	I	II	III	IV	V
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ	MVA	335	335	344	344	431.5
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	-	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85

ΤΑΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	kV	21	21	20	20	21
ΕΝΤΑΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	kA	9.164	9.164	9.940	9.940	11.863

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



Σχήμα 18. Στάτης γεννήτριας ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου υπό συντήρηση

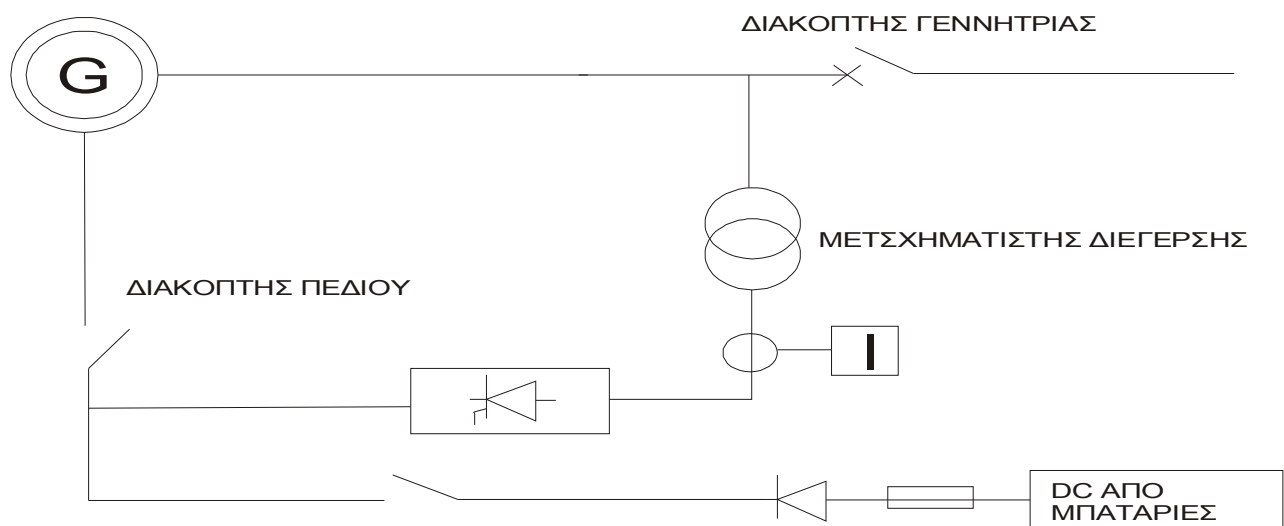
Οι γεννήτριες συμπεριφέρονται χωρητικά ή επαγωγικά ανάλογα με τη ροή της αέργου ισχύος που παρουσιάζεται. Θετική αέργος ισχύς σημαίνει χωρητική συμπεριφορά της γεννήτριας ενώ αρνητική αέργος ισχύς σημαίνει επαγωγική συμπεριφορά. Σε περίπτωση επαγωγικής φόρτισης τα όρια ευσταθούς λειτουργίας περιορίζονται. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απομάκρυνση των δύο μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα με αποτέλεσμα το σύστημα να οδηγείται πιο εύκολα σε αστάθεια. Αντίθετα, σε περίπτωση χωρητικής φόρτισης η γωνία μεταξύ των πεδίων τείνει να μηδενιστεί και η ευστάθεια του συστήματος αυξάνεται. Ανάλογα με το φορτίο της γεννήτριας έχουμε και αλλαγή του συντελεστή ισχύος. Οι ανοχές της τάσης εξόδου της γεννήτριας είναι +7% και -5% των 21KV. Τέλος, υπάρχει και μια γεννήτρια 1000Hz που βρίσκεται μπροστά από το στρόβιλο και τροφοδοτεί το panel ρύθμισης του στρόβιλου.

Κυκλώματα διέγερσης γεννητριών

Για τη διέγερση των σύγχρονων γεννητριών των μονάδων χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικά είδη διεγέρσεων. Για τη γεννήτρια της μονάδας I του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου χρησιμοποιείται ανεξάρτητη διέγερση, ενώ για τις γεννήτριες των μονάδων II, III, IV και V χρησιμοποιείται στατή διέγερση.

Όσον αφορά το σύστημα στατής διέγερσης των μονάδων II, III, IV και V περιλαμβάνει το θάλαμο διέγερσης που περιέχει τα κυκλώματα διέγερσης ή ισχύος και τα κυκλώματα ρύθμισης ή χαμηλής στάθμης. Αυτά με τη σειρά τους περιλαμβάνουν:

- τα κυκλώματα διέγερσης, που αποτελούνται από ένα κύκλωμα που τροφοδοτείται από τον Μ/Σ διέγερσης κατά την κανονική λειτουργία και ένα κύκλωμα αρχικής έναυσης που τροφοδοτείται κατά τη διάρκεια της εκκίνησης από dc πηγή των 220V.
- Τα κυκλώματα ανόρθωσης που περιλαμβάνουν μετατροπέα πλήρους γέφυρας με thyristor
- Τα κυκλώματα ρύθμισης τα οποία ελέγχουν τα κυκλώματα ανόρθωσης



Σχήμα 19. Σύστημα στατής διέγερσης σύγχρονης γεννήτριας

Ο ρόλος αυτού του συστήματος διέγερσης είναι να τροφοδοτεί το δρομέα της γεννήτριας με συνεχές ρεύμα το οποίο επιτρέπει στη γεννήτρια να διατηρήσει μια ελεγχόμενη τάση στην έξοδό της είτε είναι είτε δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο. Το σύστημα διέγερσης ελέγχεται μέσω ενός αυτομάτου ρυθμιστή τάσης (AVR: Automatic Voltage Regulator) και κύριος σκοπός του AVR είναι η ακριβής ρύθμιση και έλεγχος της τάσης εξόδου και της άεργου ισχύος της γεννήτριας. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει η τάση διέγερσης να ανταποκρίνεται γρήγορα σε αλλαγές των συνθηκών λειτουργίας, με χρόνο περίπου μερικά msec. Για αυτό απαιτείται ένας γρήγορος ελεγκτής ο οποίος συγκρίνει συνεχώς τις πραγματικές τιμές με τις τιμές αναφοράς και μεταβάλλει το τελικό στοιχείο ελέγχου, που είναι η γωνία έναυσης ενός μετατροπέα γέφυρας με thyristor. Ένας ψηφιακός ρυθμιστής υπολογίζει ανά τακτά χρονικά διαστήματα τη μεταβλητή ελέγχου, η οποία προκύπτει από τη μετρούμενη τιμή και την τιμή αναφοράς. Τα αναλογικά σήματα όπως οι μετρούμενες τιμές της τάσης και του ρεύματος εξόδου της γεννήτριας μετατρέπονται σε ψηφιακά από μετατροπείς A/D ενώ τα σήματα αναφοράς είναι ήδη σε ψηφιακή μορφή.

Η ισχύς της διέγερσης παρέχεται στο δρομέα από την έξοδο της γεννήτριας μέσω ενός μετασχηματιστή διέγερσης. Το ρεύμα διέγερσης ρέει μέσω του Μ/Σ διέγερσης, του διακόπτη διέγερσης και του μετατροπέα πλήρους γέφυρας με thyristor. Ο Μ/Σ διέγερσης ενεργεί σα στραγγαλιστικό πηνίο(επαγωγική αντίδραση) οδηγώντας σε περιορισμό των αρμονικών του ρεύματος, παρέχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της εξόδου της γεννήτριας και των τυλιγμάτων διέγερσης και υποβιβάζει την τάση εξόδου της γεννήτριας στην απαιτούμενη τάση εισόδου του μετατροπέα με thyristor. Ο μετατροπέας μετατρέπει το ac ρεύμα σε ελεγχόμενο dc ρεύμα διέγερσης. Τα τυλίγματα διέγερσης τροφοδοτούνται από το σύστημα διέγερσης μέσω συστήματος ψηκτρών. Η αποδιέγερση της γεννήτριας πραγματοποιείται με το άνοιγμα του διακόπτη διέγερσης και μέσω της αντίστασης εκφόρτισης εξασφαλίζει την ομαλή απαλογή του ρεύματος διέγερσης του δρομέα.

Κατά την έναρξη της διαδικασίας εκκίνησης απαιτούνται μόνο 10-20Volt στην είσοδο του μετατροπέα. Η απαιτούμενη ενέργεια για την αρχική έναυση προέρχεται από την αρχική παραμένουσα τάση εξόδου της γεννήτριας. Στην περίπτωση που η ενέργεια αυτή δεν επαρκεί και η τάση στην είσοδο του μετατροπέα είναι μικρότερη των 10-20V, ο μετατροπέας πυροδοτείται συνεχόμενα (λειτουργία των thyristor σα δίοδοι) μέχρι να επιτευχθεί η κατάλληλη τιμή τάσης εισόδου και ο μετατροπέας να επανέλθει στην κανονική του λειτουργία. Αν κάτι τέτοιο δε γίνει, σε διάρκεια μερικών δευτερολέπτων ενεργοποιείται εφεδρικό κύκλωμα έναυσης το οποίο τροφοδοτείται από dc πηγή. Στο 10% της τάσης της γεννήτριας ο μετατροπέας λειτουργεί κανονικά και η διαδικασία αρχικής έναυσης τερματίζεται.

Η διάταξη διέγερσης της γεννήτριας της μονάδας I του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι διάταξη ανεξάρτητης διέγερσης έकाστη. Κύρια στοιχεία της ανεξάρτητης διέγερσης είναι οι σύγχρονες γεννήτριες κυλινδρικού δρομέα που είναι η κύρια γεννήτρια και η κύρια διεγέρτρια και η σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη σαν βοηθητική διεγέρτρια ή προδιεγέρτρια. Οι τρεις γεννήτριες βρίσκονται στον ίδιο άξονα, ο οποίος περιστρέφεται με 3000 στροφές/λεπτό.

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών επιβάλλει την εφαρμογή συνεχούς ρεύματος διέγερσης στα τυλίγματα του δρομέα προκειμένου να εμφανιστεί εναλλασσόμενη τάση στους πόλους του στάτη. Το συνεχές αυτό ρεύμα στα τυλίγματα διέγερσης της κύριας γεννήτριας προέρχεται από την μη ελεγχόμενη ανόρθωση, με τριφασική γέφυρα με διόδους, της τάσης εξόδου της κύριας διεγέρτριας. Το ρεύμα διέγερσης του δρομέα της κύριας διεγέρτριας προκύπτει από την ανορθωμένη τάση εξόδου της βοηθητικής διεγέρτριας. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί είτε με αυτόματη ρύθμιση τάσης (κανονική λειτουργία) είτε με χειροκίνητη ρύθμιση τάσης (εφεδρική λειτουργία σε περίπτωση ανωμαλίας της αυτόματης ρύθμισης). Έτσι, η ανόρθωση της τάσης εξόδου της βοηθητικής διεγέρτριας προκύπτει, στην μεν αυτόματη λειτουργία ελεγχόμενα, μέσω της τριφασικής γέφυρας με thyristor, στη δε χειροκίνητη λειτουργία μέσω μαγνητικών ενισχυτών και διόδων. Η εισαγωγή της προδιεγέρτριας στη διάταξη διέγερσης καθιστά τη διαδικασία τροφοδοσίας του δρομέα της κύριας γεννήτριας τελείως ανεξάρτητη από εξωτερικές πηγές, δικαιολογώντας, έτσι, το χαρακτηρισμό της διάταξης διέγερσης ως ανεξάρτητη.

Όσον αφορά την αυτόματη ρύθμιση της τάσης της γεννήτριας, αυτή γίνεται ως εξής: η διέγερση της κύριας διεγέρτριας λαμβάνεται μέσω της τριφασικής γέφυρας thyristor, η οποία τροφοδοτείται από την έξοδο της βοηθητικής διεγέρτριας. Η τιμή της τάσης εξόδου της γέφυρας εξαρτάται από τη γωνία έναυσης των thyristor. Ο παλμός του κάθε thyristor

παράγεται από αντίστοιχη παλμογεννήτρια (μία για το καθένα) η οποία βρίσκεται και ελέγχεται στη διάταξη αυτόματου ρυθμιστή. Η διάταξη αυτή ανιχνεύει ανά πάσα στιγμή, μέσω των Μ/Σ τάσης και έντασης, την τάση και το ρεύμα εξόδου της κύριας γεννήτριας. Αν υπάρχει απόκλιση μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής τιμής της τάσης εξόδου, ο αυτόματος ρυθμιστής τάσης δίνει κατάλληλη εντολή στις παλμογεννήτριες των thyristor ώστε η γωνία έναυσής τους να μεταβληθεί. Έτσι, μεταβάλλεται ανάλογα η τάση εξόδου της γέφυρας και κατ' επέκταση η τάση της κύριας γεννήτριας γίνεται ίση με την επιθυμητή.

Ως εφεδρική λειτουργία του αυτόματου ρυθμιστή υπάρχει η μέθοδος της χειροκίνητης ρύθμισης της τάσης. Η διέγερση της κύριας διεγέρτριας λαμβάνεται από ένα μαγνητικό ενισχυτή, ο οποίος τροφοδοτείται, μέσω ενός Μ/Σ από την τάση εξόδου της βοηθητικής διεγέρτριας. Η τάση αυτή ανορθώνεται μέσω γέφυρας διόδων. Η ρύθμιση της τάσης γίνεται από έναν τηλεχειριζόμενο, ηλεκτροκίνητο ροοστάτη, ο οποίος ελέγχει τα αμπεροεπίγματα ελέγχου του μαγνητικού ενισχυτή. Ο ηλεκτροκίνητος ροοστάτης μέσω του ελέγχου του μαγνητικού ενισχυτή ελέγχει τη διέγερση της κύριας διεγέρτριας και τελικά την τάση εξόδου της κύριας γεννήτριας. Κατά τη μεταγωγή από την αυτόματη λειτουργία στη χειροκίνητη και αντίστροφα εμφανίζονται έντονες μεταβολές στη γεννήτρια. Προκειμένου να αποφευχθούν οι μεταβολές αυτές πρέπει η τάση εξόδου της γέφυρας ανόρθωσης του χειροκίνητου καναλιού να ρυθμίζεται ώστε να είναι ίση με την τάση εξόδου της γέφυρας του αυτόματου καναλιού. Τόσο στην αυτόματη όσο και στην χειροκίνητη λειτουργία, η ρύθμιση της τάσης γίνεται με αναλογικό τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Λειτουργία Μονάδων

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά μίας μονάδας παραγωγής ενέργειας παρέχονται από τον κατασκευαστή και ανάμεσά τους η σημαντικότερη ίσως πληροφορία είναι το τεχνικό μέγιστο και το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας, δηλαδή η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παράγει η μονάδα. Μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να βρίσκεται σε μία από της ακόλουθες τέσσερις καταστάσεις:

- Κατάσταση κανονικής λειτουργίας (ON): Όταν μία μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας παράγει ενέργεια μεταξύ του τεχνικού της ελαχίστου και του τεχνικού της μεγίστου.
- Κατάσταση κράτησης (OFF): Όταν μία μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση κράτησης δεν παράγει καθόλου ενέργεια και επομένως η τιμή της φόρτισης είναι εξ ορισμού μηδενική.
- Κατάσταση Έναυσης (STUP – Start Up): Όταν μία μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση έναυσης παράγει μία τιμή ισχύος, η οποία είναι μικρότερη από το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας. Η κατάσταση αυτή είναι υποχρεωτική μεταβατική κατάσταση και η μονάδα δεν συνεισφέρει στην κάλυψη της ζήτησης του συστήματος.
- Κατάσταση Σβέσης (SHDN- Shut Down): Όταν μία μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση σβέσης, όπως και στην περίπτωση που βρίσκεται σε κατάσταση έναυσης παράγει ισχύ μικρότερη από το τεχνικό της ελάχιστο και δεν συνεισφέρει στην κάλυψη της ζήτησης του συστήματος. Και η κατάσταση αυτή είναι υποχρεωτική μεταβατική κατάσταση των μονάδων που μεσολαβεί ανάμεσα στις καταστάσεις κανονικής λειτουργίας (ON) και κράτησης (OFF).

Οι καταστάσεις έναυσης και σβέσης, όπως ήδη αναφέρθηκε είναι μεταβατικές καταστάσεις μεταξύ των καταστάσεων κράτησης και κανονικής λειτουργίας ή αντίστροφα. Ανάμεσα στους τεχνικούς περιορισμούς που συνοδεύουν τη λειτουργία των μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι και οι ελάχιστοι χρόνοι έναυσης και σβέσης. Είναι αναμενόμενο ότι μία μονάδα που βρίσκεται σε κράτηση χρειάζεται κάποιο χρόνο για να βρεθεί σε θέση να παράγει το τεχνικό της ελάχιστο (χρόνος για επιτευχθούν οι απαραίτητες θερμοκρασίες λειτουργίας, να υπερνικηθούν οι αδράνειες κλπ.) και αντίστοιχα όταν μία μονάδα λειτουργεί κανονικά χρειάζεται κάποιος χρόνος μέχρι να τεθεί σε κατάσταση κράτησης (χρόνος για να επενεργήσει η πέδηση, να γίνει απόρριψη φορτίου κλπ.).

2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΗΨΗΣ / ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Θεωρούμε μια σταθερή κατάσταση λειτουργίας της Μονάδας. Για να αυξήσουμε το φορτίο της μονάδας πρέπει να οδηγηθεί στον στρόβιλο ατμός ο οποίος προφανώς θα έχει μεγαλύτερο θερμικό φορτίο (θερμοκρασία, πίεση, ροή), ώστε το θερμικό αυτό φορτίο να μετατραπεί σε μεγαλύτερη κινητική ενέργεια στον στρόβιλο και εν συνεχεία σε μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια στη γεννήτρια. Επειδή η θερμοκρασία και η πίεση του ατμού παραμένουν σχεδόν σταθερές και πρέπει να είναι σταθερές, η δυνατότητα που έχουμε να αυξήσουμε το θερμικό φορτίο πραγματοποιείται μέσω της αύξησης της ροής του ατμού.

Συνεπώς ανοίγοντας τις ρυθμιστικές βαλβίδες του στρόβιλου αυξάνουμε την ροή του ατμού που έχει αρχικά σαν συνέπεια ελάχιστη πτώση πίεσης του ατμού που παράγεται από τον λέβητα.

Η πίεση δεν παρουσιάζει μεγάλη πτώση όταν η αύξηση της ροής γίνεται με μικρή κλίμακα, λόγω της θερμοχωρητικότητας του λέβητα. Επίσης, λόγω της θερμοχωρητικότητας του λέβητα, η θερμοκρασία του ατμού για μικρές και μικρής διάρκειας μεταβολές της πίεσης και της ροής παραμένει σταθερή. Εάν όμως η δυνατότητα παραγωγής ατμού στον λέβητα παραμείνει σταθερή, δηλαδή η ποσότητα του λιγνίτη που καίγεται διατηρηθεί σταθερή, τότε είναι προφανές ότι αυξάνοντας κατά πολύ την ροή του ατμού ή για μεγάλη διάρκεια ανοίγοντας δηλαδή τις ρυθμιστικές βαλβίδες επειδή θα μειώνεται η πίεση του ατμού που θα παράγεται στον λέβητα και κατ'επέκταση η θερμοκρασία, δεν θα μπορεί να αυξάνεται συνεχώς το θερμικό φορτίο του ατμού, διότι το θερμικό φορτίο του λέβητα παραμένει σταθερό.

Αφού λοιπόν εμείς αυξήσουμε την ροή του ατμού ανοίγοντας τις ρυθμιστικές βαλβίδες (HP), θα μειωθεί η πίεση και η θερμοκρασία του λέβητα. Συνεπώς ο ρυθμιστής καυσίμου του λέβητα, επειδή όταν αυξάνεται η ροή του ατμού μειώνεται η πίεση, αυξάνει την ποσότητα του λιγνίτη που καίγεται ώστε να διατηρήσει την πίεση και την θερμοκρασία σταθερή. Άρα στον στρόβιλο οδηγείται πλέον ατμός με ίδια πίεση και θερμοκρασία αλλά με μεγαλύτερη ροή. Έτσι, αυξάνεται το θερμικό φορτίο και συνεπώς το ηλεκτρικό φορτίο που παράγεται.

Όσον αφορά τη γεννήτρια μιας μονάδας που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο όπου είναι συνδεδεμένες όλες οι γεννήτριες, περιστρέφεται με τόσες στροφές που ισοδυναμούν με την συχνότητα του δικτύου 50 Hz. Στην περίπτωση των λιγνιτικών μονάδων είναι 3000 rpm, 2 πόλοι ή 1 ζεύγος πόλων, άρα η συχνότητα προκύπτει από τον τύπο $f = (n \times p) / 60 = (3000 \text{rpm} \times 1) / 60 = 50 \text{Hz}$. Εάν αυξηθούν οι καταναλωτές τότε αυτοί λειτουργούν σαν φρένο στην περιστροφή των γεννητριών, συνεπώς οι στροφές της γεννήτριας της μονάδος και ακολούθως η συχνότητα θα μειωθούν (π.χ. 2990rpm ή 49,83 Hz).

Αυξάνοντας όμως οι μονάδες ή κάποια μονάδα του σταθμού την ροή του ατμού προς τον στρόβιλο παράγοντας μεγαλύτερη ενέργεια και ίση με αυτή που απορρόφησαν οι καταναλωτές, στην ουσία ισοσταθμίζουν το φρένο των καταναλωτών με αποτέλεσμα την αύξηση των στροφών της στροβιλογεννήτριας και την επαναφορά της στις 3000rpm και συνεπώς της συχνότητας του δικτύου. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η αύξηση του φορτίου της μονάδας, το οποίο συνολικά σε κάθε περίπτωση είναι ίδιο με αυτό που χρειάζονται οι καταναλωτές.

Εάν σε μια ισορροπία (π.χ. 3000 rpm, ή 50 Hz) αποσυνδεθεί ένας μεγάλος καταναλωτής από το δίκτυο τότε προφανώς θα μειωθεί η αντίσταση φρεναρίσματος από το δίκτυο προς τη γεννήτρια. Θα υπάρξει, λοιπόν, κάποια επιτάχυνση και αύξηση των στροφών της στροβιλογεννήτριας και συνεπώς αύξηση της συχνότητας. Στην περίπτωση αυτή, για να επανέλθουν οι στροφές στο ίδιο επίπεδο των 3000 rpm πρέπει να μειωθεί αντίστοιχα η ροή του ατμού στο στρόβιλο, να μειωθεί δηλαδή το θερμικό φορτίο προς τον στρόβιλο και κατ'επέκταση η παραγωγή ενέργειας από την γεννήτρια.

Το θερμικό φορτίο του ατμού αρχικά θα μειωθεί και συνεπώς το φορτίο διότι το μέγεθος της ροής επηρεάζει κατ'αναλογία περισσότερο την θερμική ενέργεια. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με περιορισμό του ατμού μέσω των ρυθμιστικών βαλβίδων. Όταν οι ρυθμιστικές βαλβίδες περιορίζουν τον ατμό, έχουμε σαν αποτέλεσμα την μείωση της ροής

ατμού προς τον στρόβιλο. Εάν διατηρηθεί η ίδια κατάσταση από πλευράς καυσίμου στο λέβητα, τότε είναι φανερό ότι επειδή το θερμικό περιεχόμενο του ατμού θα παραμείνει ως έχει μειώνοντας την ροή του ατμού προς τον στρόβιλο, θα αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία με αποτέλεσμα το ηλεκτρικό φορτίο να ανακτηθεί πάλι. Εάν συνεχίσει η μείωση της ροής, η αύξηση της πίεσης θα οδηγήσει σε άνοιγμα των By Pass HP. Τότε όση ποσότητα της ροής μειώνεται προς τον στρόβιλο, τόση θα οδηγηθεί προς το By Pass HP, εφόσον η ατμοπαραγωγή (θερμικό φορτίο του λέβητα) παραμείνει σταθερή. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση βέβαια του φορτίου αλλά και την λειτουργία της μονάδος με χαμηλό βαθμό απόδοσης, αφού ένα μέρος του ατμού δεν αξιοποιείται στο στρόβιλο.

Συνεπώς, ο λέβητας για να διατηρήσει την ίδια πίεση και θερμοκρασία αλλά χαμηλότερη ατμοπαραγωγή πρέπει να δίνει χαμηλότερο θερμικό φορτίο στον ατμό, άρα πρέπει να περιορίσει την ποσότητα του λιγνίτη που παράγει αυτή την θερμική ενέργεια. Έτσι, σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ καταναλώσεων ενέργειας - παραγωγής ενέργειας (φορτίο) - παραγωγής θερμικής ενέργειας από τον λέβητα.

Εάν αλλάξει ένα από τα παραπάνω, θα έχουμε σαν αποτέλεσμα την εξής διαδικασία:

- Αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας → μείωση της συχνότητας του δικτύου και των στροφών της στροβιλογεννήτριας → αύξηση του φορτίου και της ροής του ατμού προς τον στρόβιλο → πτώση της πίεσης του λέβητα → αύξηση της κατανάλωσης λιγνίτη
- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας → αύξηση της συχνότητας και των στροφών της στροβιλογεννήτριας → μείωση του φορτίου και της ροής ατμού προς τον στρόβιλο → αύξηση της πίεσης του λέβητα → μείωση της κατανάλωσης λιγνίτη.

Εάν διαταραχθεί η ισορροπία τότε σε περίπτωση που χρειαστεί αύξηση της κατανάλωσης λιγνίτη και δεν δοθεί, θα έχουμε πτώση της πίεσης και της θερμοκρασίας του λέβητα, πτώση του φορτίου και συνεπώς μείωση της συχνότητας και επιπλέον ο στρόβιλος μπορεί να υποστεί ψύξη εάν δεν μειώσουμε την ροή ώστε να υπάρξει πάλι ισορροπία. Στην περίπτωση που χρειάζεται μείωση της κατανάλωσης λιγνίτη και δεν γίνει, τότε θα έχουμε αύξηση της πίεσης, αύξηση του φορτίου, αύξηση της συχνότητας και εάν η πίεση αυξηθεί πάνω από ένα όριο θα έχουμε άνοιγμα του By Pass HP.

2.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Πριν την εκκίνηση της μονάδας είναι προφανές ότι όλα τα κυκλώματά της πρέπει να έχουν ελεγχθεί υδραυλικά, ηλεκτρικά και ρυθμιστικά ώστε να μην παρουσιαστούν προβλήματα κατά την διάρκεια της εκκίνησης της. Έτσι, οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται αφορούν τα παρακάτω σημεία:

- i. Όλα τα κυκλώματα προστασιών και αλληλεξαρτήσεων της μονάδας ανά τμήμα.
 - προστασίες λέβητα
 - προστασίες στροβίλου
 - προστασίες γεννήτριας - M/Σ
 - προστασίες μονάδας
- ii. Κυκλώματα προστασίας όλων των μηχανημάτων τάσεως 6KV, μύλοι λέβητα, ανεμιστήρες FDF και IDF, αντλίες κυκλοφορίας λέβητα (ΑΚΑ), αντλίες

συμπυκνώματος, αντλίες ψύξης, αντλίες κυκλοφορίας κυρίου ψυγείου και μηχανημάτων ασφάλειας (αντλίες λίπανσης, στεγανοποίησης H₂ γεννήτριας, αντλίες στάτη, αντλίες αφαλατωμένου κ.τ.λ.)

- iii. Έλεγχος όλων των συστημάτων που προμηθεύουν με πρώτη ύλη την μονάδα και απομακρύνουν τα απόβλητα της μονάδας, ώστε να είναι σε ετοιμότητα: σύστημα παραγωγής νερού (αποσκληρυμένο, αφαλατωμένο), σύστημα διακίνησης λιγνίτη, σύστημα διακίνησης τέφρας
- iv. Έλεγχος επιστομίων και ρυθμιστικών βαλβίδων για άνοιγμα - κλείσιμο με χειρισμό από απόσταση και τοπική επιθεώρηση ώστε να ανταποκρίνεται η θέση που δείχνει η ένδειξη με την πραγματικότητα
- v. Έλεγχος όλων των κυκλωμάτων τοπικά ώστε να είναι γνωστή η κατάσταση όλων των δεξαμενών, επιστομίων, θυρίδων, σταθμημέτρων, μεταδοτών, οργάνων, κ.τ.λ και να τεθούν σε θέση λειτουργίας
- vi. Έλεγχος καλής λειτουργίας της γεννήτριας Diesel, των ανορθωτών και του Inverter και να έχουν γίνει οι δοκιμές αυτόματης μεταγωγής για ηλεκτρίση των επιμέρους ζυγών σε περίπτωση black out
- vii. Δοκιμή εκκίνησης των μηχανημάτων στη θέση test του διακόπτη τους όπου είναι δυνατόν
- viii. Επιθεώρηση του δικτύου ψυκτικού νερού του πύργου ψύξης, πλήρωση δικτύου και δημιουργία στάθμης στην λεκάνη του πύργου και έλεγχος λειτουργίας τους
- ix. Εκκίνηση των αντλιών κυκλοφορίας κυρίου ψυγείου και αντλιών ψύξης βοηθητικών μηχανημάτων
- x. Πλήρωση της δεξαμενής αφαλατωμένου νερού, της εφεδρικής δεξαμενής και του συμπυκνωτή, εκκίνηση των αντλιών συμπυκνώματος και πλήρωση του δικτύου συμπυκνώματος, πλήρωση του polishing και θέση αυτού σε λειτουργία για την πλήρωση της τροφοδοτικής δεξαμενής, η οποία προηγουμένως έχει επιθεωρηθεί
- xi. Πλήρωση των αντλιών κυκλοφορίας λέβητα όταν απαιτείται
- xii. Εκκίνηση τροφοδοτικής αντλίας για πλήρωση του λέβητα και έλεγχος για διαρροή
- xiii. Δοκιμή των flaps της τροφολεκάνης και του συστήματος καύσης και απομάκρυνσης της υγρής τέφρας
- xiv. Εκκίνηση των LUVO και των ανεμιστήρων IDF – FDF, δοκιμή ηλεκτρίσης των Η/Φ για έλεγχο βραχυκυκλώματος

Προετοιμασία Στροβιλογεννήτριας

- i. Έλεγχος και επιθεώρηση του κυκλώματος λίπανσης του στροβίλου και εκκίνηση των αντλιών λίπανσης με όλες τις δοκιμές για αυτόματη μεταγωγή των αντλιών και εξασφάλιση της ορθής ροής και πίεσης

- ii. Εκκίνηση αντλιών ανυψώσεως, όπου υπάρχουν, με τις απαραίτητες δοκιμές και ρύθμιση της πίεσης του λαδιού στα έδρανα
- iii. Έλεγχος και επιθεώρηση του κυκλώματος στεγανοποίησης H₂ της γεννήτριας, πλήρωση της γεννήτριας με ξηρό αέρα πίεσης 0,5 bar και εκκίνησή του κυκλώματος με όλες τις δοκιμές αυτόματης μεταγωγής των αντλιών και εξασφάλιση της ορθής ροής και πίεσης και έλεγχος των πλωτήρων ανίχνευσης διαρροών
- iv. Έλεγχος της λειτουργίας των ταλαντομέτρων του στροβίλου και των ορθών ενδείξεων των διαφορικών - απολύτων διαστολών και μετατόπισης άξονα
- v. Εκκίνηση κρίκου και έλεγχος ορθής περιφοράς του άξονα, έλεγχος θερμοκρασίας των τυλιγμάτων της γεννήτριας και των στροφών του στροβίλου και έλεγχος των ενδείξεων ταλαντώσεων και εκκεντρότητας
- vi. Ο κρίκος πρέπει να λειτουργήσει 24 ώρες πριν από κάθε ψυχρή εκκίνηση του στροβίλου και να παρακολουθείται η εκκεντρότητα του στροβίλου
- vii. Έλεγχος της στεγανότητας της γεννήτριας με ονομαστική πίεση αέρα, εκδίωξη του αέρα με CO₂ και του CO₂ με H₂ σύμφωνα με τις οδηγίες λειτουργίας του ξηραντή H₂
- viii. Έλεγχος ηλεκτρικού κυκλώματος διέγερσης της γεννήτριας και των ηλεκτρονικών προστασιών

Κατάσταση στροβίλου πριν από την εκκίνησή του

- i. Στο κύριο ψυγείο της μονάδας πρέπει να υπάρχει κενό. Συνεχίζεται η τροφοδοσία αγωγών στις μονάδες III - IV από βοηθητικό ατμό στον συλλέκτη χαμηλής θερμοκρασίας και από ΨΑ/Θ ατμό από την ίδια ή από άλλες μονάδες στον συλλέκτη υψηλής θερμοκρασίας. Στη μονάδα V η τροφοδοσία των αγωγών γίνεται από ΨΑ/Θ από την ίδια μονάδα ή από άλλες μονάδες και εδώ απαιτείται να έχει υπάρξει καλή εξυδάτωση των γραμμών και χρειάζεται προσοχή ώστε η ρύθμιση της θερμοκρασίας στον συλλέκτη χαμηλής θερμοκρασίας να μην πέσει κάτω από 150°C
- ii. Τα υγρά προ Stop Valve HP*(υψηλής πίεσης) και Stop Valve LP*(χαμηλής πίεσης) να είναι ανοικτά προς το κύριο ψυγείο για τις μονάδες I – II και προς το μπαλόνι μηχανοστασίου για τις μονάδες III, IV και V ώστε να γίνεται εξυδάτωση και να μην πέσουν οι θερμοκρασίες του ατμού πριν τα Stop Valve και κατ'επέκταση των μετάλλων των Stop Valve. Η θερμοκρασία του ατμού πριν τα Stop Valve HP και LP πρέπει να είναι αυτή που απαιτείται από την θερμική κατάσταση του στροβίλου (520 - 540 °C) όπως αναφέρουν οι καμπύλες εκκίνησης του στροβίλου

* Τα Stop Valves HP και LP είναι βαλβίδες διακοπής κυκλοφορίας ατμού υψηλής και χαμηλής πίεσης αντίστοιχα. Είναι βαλβίδες που διακόπτουν τη ροή του ατμού από ένα σημείο και έπειτα. Περιλαμβάνουν ένα βοηθητικό άνοιγμα στη μια πλευρά τους που ελέγχεται από έναν κεφαλιόφορο κοχλία. Από αυτό το άνοιγμα γίνεται η παράκαμψη του ατμού προς την ατμόσφαιρα. Συμπερασματικά, τα Stop Valves χρησιμεύουν για την διακοπή παροχής ατμού και όχι για τη ρύθμιση όπως τα By Pass.

- iii. Τα υγρά μετά τα Stop Valve HP ή πριν τις ρυθμιστικές και μετά τα Stop Valve LP είναι κλειστά
- iv. Το κλαπέτο του στροβίλου HP πρέπει να είναι κλειστό και τα υγρά πριν το κλαπέτο ανοικτά προς το κύριο ψυγείο, ώστε ο Στρόβιλος HP να είναι υπό κενό (πίεση Curtis μηδενική)
- v. Τα υγρά μετά το κλαπέτο του στροβίλου HP πρέπει να είναι ανοικτά προς το κύριο ψυγείο, ώστε να γίνεται εξυδάτωση και η θερμοκρασία του ατμού μετά το κλαπέτο του στροβίλου HP να είναι ίδια με τη θερμοκρασία του ΨΑ/Θ μετά τα By Pass HP.
- vi. Ο διακόπτης μονάδας πρέπει να είναι ανοικτός
- vii. Ο διακόπτης της διέγερσης της γεννήτριας πρέπει να είναι ανοικτός
- viii. Η πίεση του Υ/Θ ατμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 120 bar. Η πίεση του Α/Θ ατμού πρέπει να είναι $\cong 12$ bar. Οι θερμοκρασίες του Υ/Θ ατμού πριν τα Stop Valve HP και LP πρέπει να είναι κοντά στις ονομαστικές, δηλαδή $T^{\circ} > 520$ °C. Η ροή του Υ/Θ ατμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 350 tn/h με περιθώρια του λέβητα να αυξηθεί, δηλαδή να έχουν περιθώρια οι μύλοι να φορτωθούν. Η ροή διατηρείται στους 350 - 400 tn/h αν και απαιτείται ροή περίπου 450 tn/h για να μην αυξηθεί η θερμοκρασία μετά τα By Pass LP επειδή δεν επαρκεί ο ψεκασμός καθώς και για να διατηρείται η πίεση του Α/Θ στα επίπεδα των 12 - 15 bar
- ix. Ο Λέβητας θα είναι σε By Pass λειτουργία με ροή Υ/Θ > 350 tn/h και η προθέρμανση της τροφοδοτικής δεξαμενής θα γίνεται από ατμό του ΨΑ/Θ μην επιτρέποντας την πίεση του Storage να πέσει κάτω από 1 bar δηλαδή η θερμοκρασία του νερού της τροφοδοτικής δεξαμενής να είναι περίπου ίση με 100 °C. Επειδή χρησιμοποιείται ένα μέρος της ροής του Α/Θ για προθέρμανση της τροφοδοτικής δεξαμενής, βοηθά το By Pass LP ώστε να έχει ποσοστό ανοίγματος $< 100\%$ ώστε να διατηρείται η πίεση του Α/Θ στα 12 - 15 bar περίπου. Σημειώνεται ότι η ονομαστική ικανότητα των By Pass LP είναι να δέχεται το 50% του ονομαστικού φορτίου της μονάδας και συνεπώς το 50% της ροής του Α/Θ, ενώ το By Pass HP έχει την δυνατότητα να δέχεται το 100% του φορτίου της Μονάδας σε δυναμικές καταστάσεις. Η ροή αυτή του Λέβητα που ισοδυναμεί με το 50% του ονομαστικού φορτίου επιτυγχάνεται με λειτουργία 3 μύλων και τουλάχιστον 4 καυστήρων πετρελαίου ώστε να υπάρχουν τα περιθώρια να αυξηθεί όταν γίνει ανάληψη φορτίου

2.3 ΑΝΑΛΗΨΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Οπλισμός και ανάληψη φορτίου

Πριν γίνει οπλισμός ανοίγουμε τα υγρά μετά τα Stop Valves HP ή πριν τις ρυθμιστικές βαλβίδες HP και μετά τα Stop Valves LP ώστε να τεθεί υπό κενό το τμήμα μεταξύ Stop Valve και ρυθμιστικών και να γίνει εξυδάτωση. Περιμένουμε σε αυτή την κατάσταση 15 - 20 λεπτά ελέγχοντας τη θερμοκρασία του ατμού πριν και μετά τα Stop Valves. Η θερμοκρασία των μετάλλων των Stop Valves και των ρυθμιστικών πρέπει να είναι σύμφωνα με τις επιτρεπτές τιμές που απαιτεί ο θερμός στρόβιλος (πλησίον των ονομαστικών).

Αφού έχουν σταθεροποιηθεί οι θερμοκρασίες Y/Θ και A/Θ ατμού, βάζουμε πρόγραμμα για ανάληψη στροφών:

- 1000 rpm για τις μονάδες I και II
- 1200 rpm για τις μονάδες III και IV
- 500 rpm για τη μονάδα V

Στις μονάδες III και IV πριν την άνοδο στροφών ανοίγουμε και τα υγρά μετά των ρυθμιστικών βαλβίδων HP. Κατά την άνοδο στροφών παρακολουθούμε τις ταλαντώσεις και την εκκεντρότητα του στροβίλου ώστε οι τιμές τους να είναι οι επιτρεπτές σύμφωνα με τις οδηγίες λειτουργίας. Η θερμοκρασία λαδιού του στροβίλου πρέπει να είναι 40 °C και παρακολουθούμε τη θερμοκρασία των εδράνων. Σε αυτή την κατάσταση δεν χρειάζεται να παραμείνουμε πολύ, 5 λεπτά είναι αρκετά. Αφού ελέγξουμε ότι οι ταλαντώσεις, η εκκεντρότητα και η θερμοκρασία των εδράνων και οι διαφορικές διαστολές είναι φυσιολογικές και αρχίσουν να σταθεροποιούνται, τότε προχωράμε στο στάδιο των 3000 rpm. Στο στάδιο αυτό παρακολουθούμε τα ίδια λειτουργικά μεγέθη.

Αναμενόμενα φαινόμενα κατά την άνοδο στροφών

- i. Οι ταλαντώσεις στις κρίσιμες στροφές μπορεί να αυξηθούν αλλά πρέπει να παραμείνουν εντός των επιτρεπτών ορίων
- ii. Η ένδειξη της εκκεντρότητας που υπάρχει στις μονάδες III, IV και V θα αυξηθεί αλλά εντός των επιτρεπτών ορίων
- iii. Η θερμοκρασία των εδράνων θα αυξηθεί αλλά εντός των επιτρεπτών ορίων και θα σταθεροποιηθεί
- iv. Οι διαφορικές διαστολές υψηλής (HP) και χαμηλής (LP) πίεσης για τις μονάδες I και II και όλων των στροφείων για τις άλλες μονάδες αναμένεται να μειωθούν λόγω της ανόδου στροφών ("μαζεύει" ο άξονας) αλλά εντός των ορίων
- v. Κατά την αύξηση των στροφών ελέγχουμε τη θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου LP η οποία μπορεί να αυξηθεί λόγω ανεμισμού επειδή ο στρόβιλος είναι χωρίς φορτίο. Η θερμοκρασία εξόδου LP επηρεάζεται και από το κενό του κύριου ψυγείου, όπως και οι διαφορικές διαστολές χαμηλής (LP). Εάν αυξάνονται μπορούμε να τις φρενάρουμε «χαλώντας το κενό» για να θερμανθεί με αυτό τον τρόπο γρήγορα και το κέλυφος. Εάν μειώνονται, τότε εάν βελτιώσουμε το κενό θα "φρενάρει" η μείωση γιατί έτσι θα ψύχουμε το κέλυφος
- vi.

a.) Στη μονάδα V η άνοδος στροφών γίνεται με ταυτόχρονο άνοιγμα των ρυθμιστικών βαλβίδων του στροβίλου υψηλής και μέσης πίεσης. Η μέθοδος αυτή της εκκίνησης δημιουργεί το εξής φαινόμενο: επειδή η ροή του Y/Θ ατμού προς τον στρόβιλο HP είναι χαμηλή έχουμε το φαινόμενο ανεμισμού και αυξάνεται η θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου HP. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την εξής διαδικασία: ο ρυθμιστής στροβίλου "βλέποντας" την θερμοκρασία εξόδου στροβίλου HP να αυξάνεται, αυξάνει την ροή του ατμού που διέρχεται από τον στρόβιλο HP και μειώνει αντίστοιχα την ροή

του Α/Θ ατμού από τον στρόβιλο LP (λειτουργία trimming device) αλλά η συνολική ροή είναι τέτοια ώστε να διατηρούνται οι επιθυμητές στροφές.

b.) Η θερμοκρασία εξόδου στρόβιλου HP (θερμοκρασίες μέταλλου ή και ατμού) πρέπει να παραμείνει σταθερή για τις μονάδες I, II και III, IV αφού ο στρόβιλος συνεχίζει να παραμένει υπό κενό. Η άνοδος στροφών για αυτές τις μονάδες γίνεται από τον στρόβιλο της μέσης πίεσης. Σε περίπτωση που οι στροφές αυξάνονται σημαίνει ότι ο στρόβιλος HP δεν είναι υπό κενό (ή δεν στεγανοποιεί το κλαπέτο ή οι ρυθμιστικές βαλβίδες) οπότε πρέπει να επιταχύνουμε τον συγχρονισμό για να φορτιστεί ο στρόβιλος HP διαφορετικά ο ανεμισμός θα αυξήσει τη θερμοκρασία του και μπορεί να έχουμε πτώση στρόβιλου από υψηλή θερμοκρασία εξόδου του στρόβιλου HP

- vii. Όταν φτάσουμε στις 3000rpm ελέγχεται η κατάσταση του στρόβιλου και όταν τα μεγέθη σταθεροποιηθούν εντός 5 λεπτών μπορούμε να προχωρήσουμε στον συγχρονισμό. Όταν φτάσουμε στις 3000rpm μπορούμε να συγκοινωνήσουμε τους προθερμαντές LP ανοίγοντας σταδιακά τις απομαστεύσεις και ελέγχοντας τη θερμοκρασία του νερού στην έξοδο των προθερμαντών να αυξάνεται αργά. Επίσης κατά την άνοδο στροφών και την παραμονή στις 3000rpm ελέγχονται όλα τα συστήματα που αφορούν την γεννήτρια: σύστημα λαδιού στεγανοποίησης, σύστημα νερού στάτη, αγωγιμότητα στάτη, θερμοκρασίες θερμού και ψυχρού H₂ οι οποίες λόγω ανεμισμού θα αρχίσουν να αυξάνονται
- viii. Κλείνουμε τους Α/Ζ(αποζεύκτες) των 400 KV ή των 21 KV για τη μονάδα V
- ix. Αφού ελεγχθεί η διέγερση (κυκλώματα ελέγχου - ισχύος κ.τ.λ.) θέτουμε σε λειτουργία την διέγερση και μόλις η τάση φτάσει την ονομαστική 20- 21 KV μπορούμε να δώσουμε εντολή για συγχρονισμό

Συγχρονισμός και ανάληψη φορτίου

Μόλις συγχρονίσουμε γίνεται ανάληψη φορτίου με μεγάλη κλίμακα ώστε να παραχθούν κάποια MW και να αποφευχθεί η πτώση (τριπ) από αντίστροφο ισχύ. Η άνοδος φορτίου μέσω του στρόβιλου μέσης πίεσης για τις μονάδες I και II γίνεται μέχρι η ρυθμιστική τους βαλβίδα (SMA) φτάσει σε 70% άνοιγμα (οι άλλες δύο ρυθμιστικές παραμένουν κλειστές).

Δεν συνεχίζουμε να παίρνουμε φορτίο με την μέση πίεση για δύο λόγους:

- Παίρνοντας φορτίο με την μέση πίεση χρησιμοποιούμε Α/Θ ατμό οπότε είναι προφανές ότι το άνοιγμα των By Pass LP θα περιοριστεί διότι για να διατηρηθεί η πίεση στα 12 bar πρέπει η ροή του ατμού που οδηγείται προς το κύριο ψυγείο να μειωθεί αντίστοιχα (με την προϋπόθεση ότι η ροή του Υ/Θ ατμού παραμένει ως έχει και συνεπώς το άνοιγμα των By Pass HP ως έχει). Εάν συνεχίσουμε την άνοδο φορτίου με τον στρόβιλο μέσης πίεσης, όταν η SMA ανοίξει σε ποσοστό > 70% τότε θα ανοίξουν τελείως και οι άλλες δύο ρυθμιστικές βαλβίδες μέσης πίεσης και τότε εάν η ροή του Υ/Θ ατμού δεν είναι ικανή (~ 400tn/h) υπάρχει περίπτωση να κλείσουν εντελώς τα By Pass LP και να αρχίσει να μειώνεται η πίεση του Α/Θ ατμού. Το γεγονός αυτό θα οδηγήσει σε ψύξη του στρόβιλου LP
- Παίρνοντας όλο το φορτίο με τη μέση πίεση, μέχρι να ανοίξουν πλήρως όλες οι ρυθμιστικές βαλβίδες, οι δυνάμεις ώθησης των στροφείων είναι προς μία κατεύθυνση

και η μετατόπιση του άξονα θα είναι μεγαλύτερη και υπάρχει κίνδυνος ενεργοποίησης της προστασίας μετατόπισης του άξονα

Συνεπώς αφού φτάσουμε σε άνοιγμα της SMA σε ποσοστό 70%, περνάμε σε manual λειτουργία το ρυθμιστή του στροβίλου μέσης πίεσης και το By Pass LP παραμένει ανοικτό (το ποσοστό εξαρτάται από την ροή Y/Θ ατμού). Στις μονάδες III, IV οι ρυθμιστικές βαλβίδες του στροβίλου HP αρχίζουν και ανοίγουν από κάποιο σημείο ανοίγματος των βαλβίδων μέσης πίεσης σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες, οπότε δεν χρειάζεται να κάνουμε κάποιες ενέργειες στις βαλβίδες στροβίλου HP. Συνεχίζουμε την άνοδο φορτίου με το στροβίλο HP αυξάνοντας το φορτίο με μεγάλη κλίμακα να ανοίξει το κλαπέτο, ώστε να φορτιστεί γρήγορα ο στροβίλος HP για να αποφευχθεί το φαινόμενο του ανεμισμού, δηλαδή να αυξηθεί η θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου HP. Υπάρχει κίνδυνος να αυξηθεί η θερμοκρασία εξόδου για όση διάρκεια παραμένει ανοικτό το By Pass HP σε ποσοστό > 30% και η πίεση του A/Θ ατμού είναι μεγαλύτερη από 12 bar.

Παίρνοντας φορτίο με το στροβίλο ΥΠ ένα μέρος της ροής Y/Θ διοχετεύεται στο στροβίλο ΥΠ και το υπόλοιπο διοχετεύεται μέσω των By Pass ΥΠ στον ΨΑ/Θ με αποτέλεσμα να διατηρείται η πίεση του Y/Θ σταθερή. Όσο αυξάνεται το άνοιγμα των ρυθμιστικών βαλβίδων HP τόσο μειώνεται το άνοιγμα των By Pass HP. Η άνοδος του φορτίου από το στροβίλο HP γίνεται έως ότου κλείσει οριακά το By Pass HP δηλαδή όλη η ροή Y/Θ ατμού (πχ 350 tn/h) περνάει από το στροβίλο HP. Δεν συνεχίζουμε την άνοδο φορτίου μόλις κλείσει το By Pass HP διότι θα έχουμε πτώση της πίεσης του Y/Θ ατμού και της θερμοκρασίας του και συνεπώς ψύξη του στροβίλου. Επειδή όμως ο στροβίλος είναι θερμός δεν πρέπει να παραμείνουμε σε αυτή την κατάσταση. Πρέπει η ροή του Y/Θ ατμού να αυξηθεί για να μην ψυχθεί ο στροβίλος.

Συνεπώς λίγο πριν κλείσει το By Pass HP (πχ στο 10%) αυξάνουμε τις φωτιές στο λέβητα αυξάνοντας την φόρτιση των μύλων ούτως ώστε να αυξηθεί η ροή του Y/Θ ατμού και συνεχίζουμε να παίρνουμε φορτίο έως ότου η ροή Y/Θ ατμού φτάσει τουλάχιστον στους 450 tn/h, προσέχοντας όμως η πίεση να παραμείνει σταθερή. Η πίεση πρέπει αρχικά να παραμείνει σταθερή και ακολούθως να αυξάνεται με χαμηλή κλίση για να μην αυξηθούν γρήγορα και οι θερμοκρασίες του ατμού. Εάν πέσει η πίεση του Y/Θ ατμού επειδή θα μειωθούν και οι θερμοκρασίες, θα ψυχθεί ο στροβίλος. Συνεπώς την ροή δεν την αυξάνουμε παίρνοντας μόνο φορτίο αλλά δίνοντας παράλληλα φωτιές στο λέβητα.

Ο μηχανισμός λειτουργεί ως εξής: δίνοντας φωτιές ανεβαίνει η πίεση στο λέβητα και η δυνατότητα ατμοπαραγωγής. Εάν ανεβεί η πίεση του λέβητα προφανώς θα ανοίξει το By Pass HP για να αυξηθεί η ατμοπαραγωγή. Για να μην ανοίξει πρέπει να παίρνουμε σταδιακά φορτίο για να αυξηθεί η ροή μέσω του στροβίλου HP. Επομένως, για να μην ανέβει η πίεση και ανοίξει το By Pass HP, παίρνουμε εκ των προτέρων φορτίο αλλά με τέτοιο ρυθμό ώστε να διατηρείται η πίεση σταθερή, δηλαδή να εξισωθεί η ατμοπαραγωγή με την ροή Y/Θ ατμού. Αφού η ροή του Y/Θ φτάσει τους 450 tn/h τότε πλέον θα έχει αυξηθεί και η ροή A/Θ και συνεπώς και το άνοιγμα των By Pass LP θα είναι μεγαλύτερο από 50%. Συνεπώς θα μπορούμε να πάρουμε πλέον φορτίο για τις μονάδες I, II μέσω του στροβίλου MP (μέσης πίεσης) ανοίγοντας τελείως τις ρυθμιστικές.

Συνεπώς έχουμε την εξής κατάσταση:

- Θερμοκρασία Y/Θ - A/Θ ατμού ως προηγούμενως 520 - 540°C, πίεση Y/Θ ~140 bar, ροή Y/Θ 450 tn/h

- Πίεση A/Θ \cong 12 - 15 bar
- By Pass HP και LP κλειστά πλέον
- Φορτίο μονάδας με τους στροβίλους HP και MP \sim 150 MW

Για να αυξήσουμε το φορτίο είναι προφανές ότι πρέπει να αυξήσουμε τις φωτιές στο λέβητα, αλλά αργά και προοδευτικά ώστε η αύξηση της πίεσης μέχρι την ονομαστική τιμή να είναι ομαλή. Όταν ξεκινήσουμε κάποιο μύλο πρέπει το συνολικό ποσοστό λιγνίτη να είναι το ίδιο με αυτό πριν από την εκκίνησή του και να το αυξάνουμε σιγά - σιγά μειώνοντας αντίστοιχα πετρέλαιο. Για να μην αυξηθεί γρήγορα η πίεση και οι θερμοκρασίες Y/Θ και A/Θ ατμού ταυτόχρονα με την αργή αύξηση του καυσίμου πρέπει να παίρνουμε φορτίο με πολύ μικρή κλίμακα (1MW/min). Στην αργή αύξηση των θερμοκρασιών Y/Θ και A/Θ ατμού βοηθά και η αργή συγκοινωνήση των προθερμαντών. Η συγκοινωνήσή τους πρέπει να γίνει πριν ξεκινήσει και άλλος μύλος. Όσο το τροφοδοτικό νερό στην είσοδο του οικονομητήρα (ECO) είναι πιο θερμό, τόσο πιο χαμηλές είναι οι ανεξέλεγκτες θερμοκρασίες του Y/ΘI και κατ'επέκταση οι τελικές θερμοκρασίες του Y/Θ ατμού διότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα αυξάνεται και απαιτείται λιγότερο καύσιμο για την ίδια ατμοπαραγωγή.

2.4 ΣΒΕΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ

Σε περίπτωση σβέσης μιας μονάδας η στροβιλογεννήτρια απομονώνεται ηλεκτρικά και υδραυλικά και ελέγχεται ότι λιπαίνεται. Ειδικότερα:

- Γίνεται εκκίνηση της αντλίας λίπανσης του στροβίλου και επιβεβαιώνεται ότι η πίεση λαδιού λίπανσης είναι η κανονική. Ελέγχεται, επίσης, η θερμοκρασία των εδράνων και οι ταλαντώσεις του στροβίλου
- Ανοίγει ο διακόπτης μονάδας και διέγερσης, απομονώνεται δηλαδή η μονάδα από το δίκτυο
- Κλείνουν τα Stop Valves HP και LP. Σε συνδυασμό με το άνοιγμα του διακόπτη μονάδας, πρέπει να ελεγχθεί ότι οι στροφές της στροβιλογεννήτριας μειώνονται εφόσον αυτή απομονώθηκε από το δίκτυο και δεν περιστρέφεται με την συχνότητα του δικτύου. Εάν δεν μειωθούν οι στροφές, δηλαδή παραμένουν στις 3000rpm σημαίνει ότι δεν άνοιξε ο διακόπτης ή ότι είναι συνδεδεμένος κατά κάποιο τρόπο στο δίκτυο. Στην περίπτωση που η στροβιλογεννήτρια είναι απομονωμένη από το δίκτυο αλλά δεν υπάρχει απώλεια στροφών, αυτό σημαίνει ότι δεν στεγανοποιούν τα Stop Valves ή δεν έχουν κλείσει και πρέπει να απομονωθεί ο στροβίλος και από τους ατμοφράκτες του λέβητα ή ακόμη και μηδενίζοντας την πίεση Y/Θ και A/Θ ατμού. Στην περίπτωση που η μονάδα παραμένει κατά κάποιο τρόπο συνδεδεμένη με το δίκτυο, τότε πρέπει να ζητηθεί να αποσυνδεθεί άμεσα μέσω άλλων διακοπών - ζυγών
- Κλείνει το κλαπέτο στροβίλου HP και είναι ανοικτά τα υγρά προ του κλαπέτου. Σε συνδυασμό με κλειστά Stop Valves HP η πίεση στο κέλυφος HP μηδενίζει (στροβίλος HP υπό κενό). Εάν δεν κλείσει το κλαπέτο του στροβίλου HP ή δεν στεγανοποιεί, τότε εάν παραμένει υπό πίεση ο στροβίλος HP θα υπάρξει ανομοιόμορφη ψύξη του στροβίλου και το πιθανότερο είναι να έχουμε κάμψη του άξονα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να μηδενίσουμε την πίεση στο κέλυφος "ξεπρεσσάροντας" το δίκτυο του A/Θ ατμού. Δηλαδή σταματάμε την λειτουργία του λέβητα, κλείνουμε το By Pass HP και

μειώνουμε σταδιακά την πίεση του Α/Θ ατμού μέσω των By Pass LP και μόλις η πίεση μειωθεί σε τιμές μικρότερες των 5 bar ανοίγουμε τα υγρά του Α/Θ ατμού στο λέβητα

- v. Ανοίγουν τα By Pass HP και LP. Η θερμοκρασία του ατμού μετά τα By Pass HP πρέπει να κυμανθεί από 250 - 280°C και μετά By Pass LP στους 100 °C
- vi. Συνεχίζεται η τροφοδοσία των λαβυρίνθων με ζωντανό ατμό (Υ/Θ στις μονάδες I και II) και ελέγχεται η θερμοκρασία του συλλέκτη χαμηλής θερμοκρασίας να είναι περίπου 150 °C και η πίεση να είναι κανονική. Για τις άλλες μονάδες ισχύει το ίδιο, δηλαδή πρέπει να εξασφαλιστεί η τροφοδοσία των λαβυρίνθων με ικανή πίεση και θερμοκρασία. Η χαμηλή πίεση ατμού λαβυρίνθων συνεπάγεται είσοδο αέρα από τον άξονα και τοπική ψύξη του και η χαμηλή θερμοκρασία λαβυρίνθων λόγω ψεκασμού (μονάδες I, II και V) μπορεί να επιτρέψει την είσοδο νερού από τους λαβυρίνθους στον στρόβιλο και τοπική ψύξη του.
- vii. Τα υγρά προ Stop Valve LP και μετά το κλαπέτο του Στροβίλου HP πρέπει να ανοίξουν προς το κύριο ψυγείο
- viii. Ο λέβητας λειτουργεί σε By Pass λειτουργία με 4 Μύλους και ροή Υ/Θ ατμού 350 - 400 tn/h στις μονάδες I, II, III και IV και 500 tn/h στην μονάδα V. Ακολούθως μπορεί σταδιακά να παραμείνει σε λειτουργία ο λέβητας με 3 μύλους και 4 καυστήρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Δευτερεύουσες λειτουργίες

3.1 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΗΣ

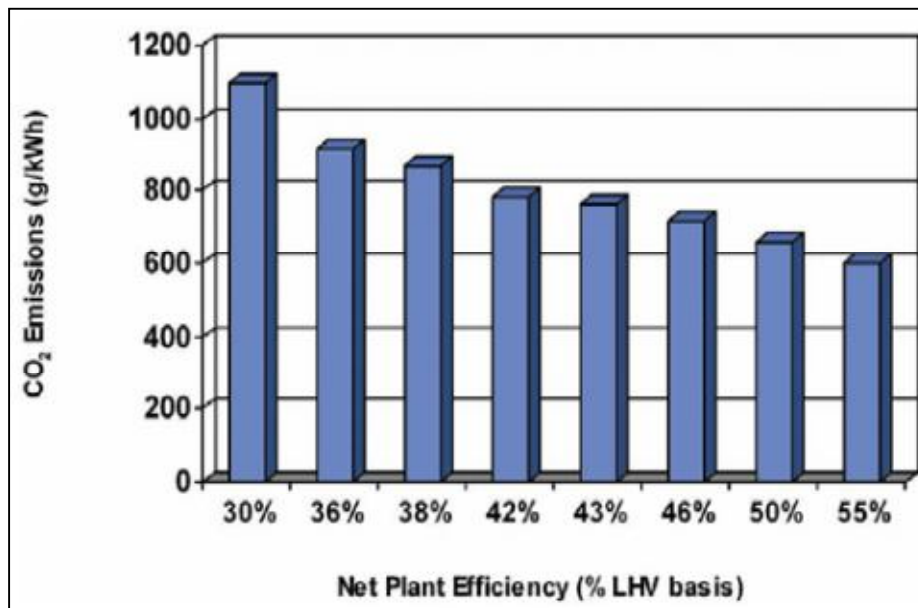
Με την πάροδο του χρόνου, οι περιβαλλοντικές συνέπειες των ΑΗΣ και τα μέτρα προστασίας του επηρεάζουν όλο και περισσότερο την βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Δημιουργούνται νόμοι και περιορισμοί στις εκπομπές ρύπων από ΑΗΣ, οι οποίοι γίνονται σταδιακά πιο αυστηροί. Γίνονται μεγάλες προσπάθειες από τις κυβερνήσεις χωρών αλλά κυρίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση για περιορισμό των εκπομπών ρύπων από τους ΑΗΣ. Απόδειξη των προσπαθειών αυτών είναι η Οδηγία 88/609/EEC της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1988. Η οδηγία καθορίζει τις οριακές τιμές εκπομπών ρύπων από τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης (ισχύος μεγαλύτερης των 50MWth). Μια νέα έκδοση της Οδηγίας εκδόθηκε το 1998 με σκοπό την εφαρμογή της από τον Ιανουάριο του 2000. Ο πιο πρόσφατος καρπός της προσπάθειας για προστασία του περιβάλλοντος είναι το Πρωτόκολλο του Κυότο.

Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αναλάβει τη δέσμευση να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% μέχρι το 2008 - 2012 σε σχέση με το έτος βάσης, με διαφοροποιημένες τις υποχρεώσεις των κρατών-μελών. Κάθε κράτος μέλος έχει αναλάβει ένα εθνικό στόχο περιορισμού των εκπομπών, με δεδομένη την διατήρηση του καθολικού στόχου για την Ε.Ε. Σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου θεωρείται το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) καθώς υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο εκλύονται στην ατμόσφαιρα 6 δισεκατομμύρια τόνοι. Στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου του Κυότο για την περίοδο 2008 - 2012, την απόφαση 2002/358/EK της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του ελληνικού νόμου 3017/2002 με τον οποίο επικυρώθηκε από την Ελλάδα το Πρωτόκολλο, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα επιτρέπεται να είναι αυξημένες μέχρι έως και 25% σε σχέση με τα επίπεδα των αντίστοιχων εκπομπών του έτους βάσης (έτος 1990 για CO₂, CH₄, N₂O και 1995 για HFCs, PFCs, SF₆).

Οι μεγαλύτερες ρυπογόνες παραγωγικές μονάδες στην Ελλάδα ήταν ανέκαθεν οι μονάδες παραγωγής ενέργειας με χρήση λιγνίτη, δηλαδή οι λιγνιτικοί ΑΗΣ. Συνεπώς, πρωταρχικός στόχος για εκπλήρωση των όρων του πρωτοκόλλου του Κυότο είναι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ΑΗΣ. Η βελτιστοποίηση αυτή αφορά κυρίως στη μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης των μονάδων του, αλλά και στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων ρύπων όπως η εφαρμογή ηλεκτροστατικών φίλτρων που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Ο βαθμός απόδοσης ενός ΑΗΣ ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος του ΑΗΣ προς κατανάλωση (ωφέλιμη ισχύς), προς την καταναλισκόμενη θερμική ισχύ που προσδίδεται σε αυτόν από το καύσιμο. Αυξάνοντας τον βαθμό απόδοσης του ΑΗΣ, απαιτείται πρόσδοση μικρότερου ποσού θερμότητας για την ίδια αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ. Η αύξησή του οδηγεί σε μείωση του μακροπρόθεσμου κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διότι απαιτείται λιγότερο καύσιμο για την παραγωγή της ίδιας ωφέλιμης ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης, η αύξησή του φέρνει σημαντικές μειώσεις εκπομπών ρύπων προς το περιβάλλον. Αυτή η τάση αύξησης του βαθμού απόδοσης φαίνεται διαχρονικά, καθώς οι πρώτοι σταθμοί του 1930 είχαν απόδοση 25% ενώ σήμερα έχουν απόδοση μέχρι και 60%. Η οικονομία ενός ΑΗΣ δε σχετίζεται μόνο με ενεργειακά θέματα, όπως η τιμή του καυσίμου υλικού και της κιλοβατώρας, αλλά και με περιβαλλοντολογικά, όπως η τιμή δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ που ορίζεται από το Πρωτόκολλο του Κυότο.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τον βαθμό απόδοσης των επιμέρους τμημάτων ενός ΑΗΣ, δηλαδή της στροβιλογεννήτριας, του ψυγείου και του λέβητα. Οι μεγαλύτερες απώλειες ενός ΑΗΣ εμφανίζονται στο λέβητα και το κύριο ψυγείο. Μεγαλύτερα περιθώρια βελτίωσης του βαθμού απόδοσης παρουσιάζει ο λέβητας όπως θα δούμε και παρακάτω. Η βελτίωση των υπόλοιπων τμημάτων αφορά κυρίως στη συντήρησή τους (απώλειες από κακή στεγανοποίηση, φθορά μηχανικών μερών κ.α.). Στο Σχ. φαίνεται η μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την αύξηση του βαθμού απόδοσης του ΑΗΣ.



Σχήμα 20

Ο βαθμός απόδοσης (B.A.) ΑΗΣ η δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$n = \frac{MW_{el}}{MW_{th}} \times 100\% \quad \text{όπου:}$$

MW_{el} = παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς = παραγόμενη ισχύς – ιδιοκατανάλωση του σταθμού

MW_{th} = καταναλισκόμενη θερμική ισχύς = B.A. λέβητα × B.A. ψυγείου και στροβιλογεννήτριας

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του ΑΗΣ είναι περίπου 39.6% με απώλειες 60.4%. Αυτό οφείλεται στο βαθμό απόδοσης των επιμέρους τμημάτων του ΑΗΣ. Αναλυτικότερα:

B.A λέβητα : 87%

B.A στροβίλου και ψυγείου: 46%

B.A. γεννήτριας : 99%

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (απλοποιημένη μορφή)



Σχήμα 21

Όπως παρατηρούμε και στο Σχήμα, όσο προχωρά η παραγωγική διαδικασία στα στάδια μετατροπής της ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη, ο βαθμός απόδοσης μειώνεται σημαντικά. Αξίζει να αναφερθεί πως για ποσοστό 1% βελτίωσης του βαθμού απόδοσης μιας μονάδας υπάρχει κέρδος 0.5€/MWh από τη μείωση των εκπομπών CO₂ και κέρδος 1.3€/MWh από τη μείωση κατανάλωσης λιγνίτη με αποτέλεσμα να υπάρχει συνολικό κέρδος 1.8€/MWh το οποίο μεταφράζεται σε 4.000.000€ ανά μονάδα το έτος.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Οι απώλειες που παρατηρούνται στο λέβητα είναι θερμικές απώλειες που χωρίζονται σε:

- απώλειες ακούστων
- απώλειες καυσαερίων
- απώλειες ακτινοβολίας
- απώλειες νερού – ατμού

Οι απώλειες ακούστων συμβάλλουν στην υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου ενώ οι απώλειες καυσαερίων, ακτινοβολίας και νερού – ατμού αποτελούν ανεκμετάλλευτη ενέργεια προς το περιβάλλον. Οι απώλειες ακούστων περιλαμβάνουν άκαυστο άνθρακα υπό μορφή ιπτάμενης αλλά και υγρής τέφρας και μονοξείδιο του άνθρακα (CO) λόγω ατελούς καύσης και είναι οι απώλειες με το μεγαλύτερο ποσοστό. Οι παράγοντες που επιδρούν και προκύπτουν αυτές οι απώλειες είναι η λανθασμένη ποσότητα αέρα και ο παρασιτικός αέρας στο λέβητα, η λανθασμένη πίεση του αέρα καύσης, η ρύπανση του λέβητα από επικαθήμενη τέφρα και η κοκκομετρία του καυσίμου. Ο παρασιτικός αέρας είναι ο αέρας που εισέρχεται στο λέβητα από μη συμβατικές οδούς. Η παρουσία παρασιτικού αέρα (και άρα μη προθερμασμένου) στο λέβητα οφείλεται σε κακή στεγανοποίηση διαφόρων σημείων αυτού.

Οι απώλειες καυσαερίων μεταφράζονται σε υψηλή θερμοκρασία, υψηλή ποσότητα και σύσταση καυσαερίων. Οι παράγοντες που επιδρούν είναι οι ίδιοι με των απωλειών ακαύστων.

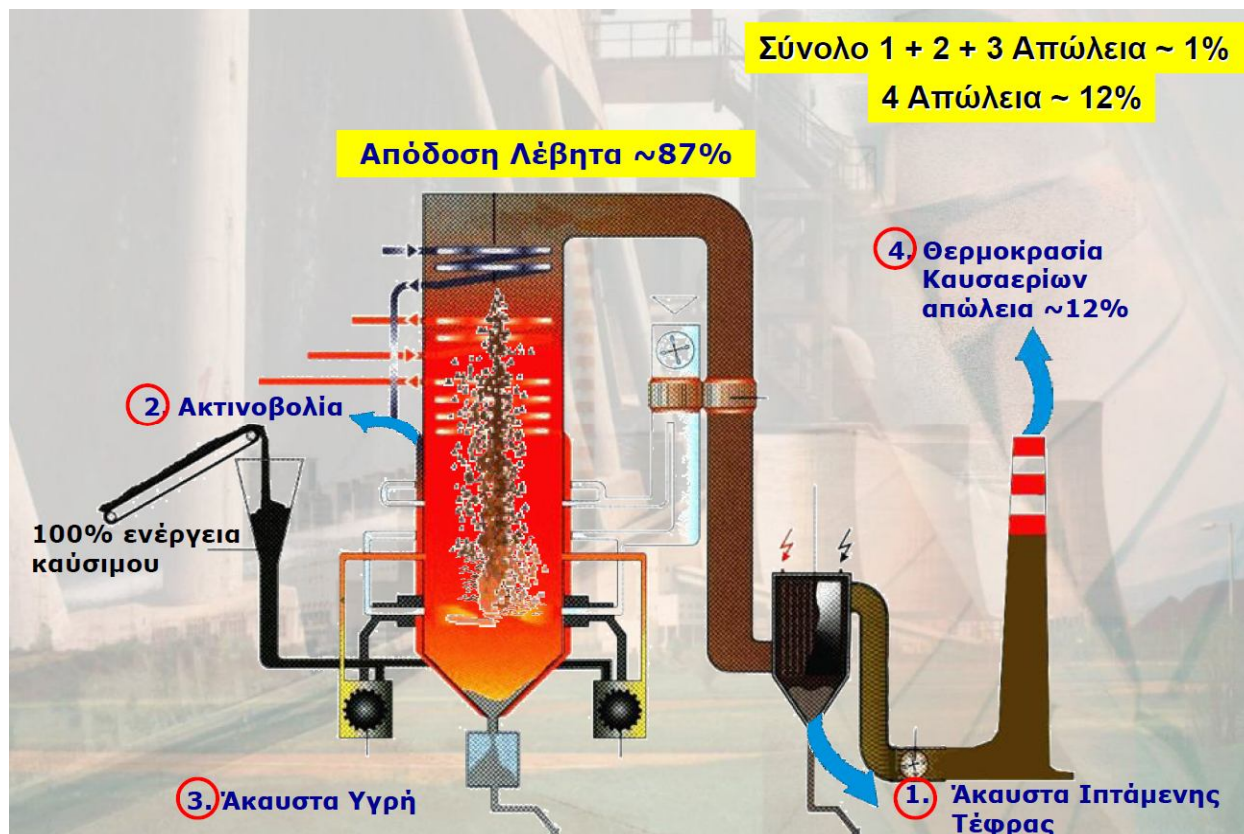
Όσον αφορά την ποσότητα του αέρα καύσης που παρέχεται από τους FDF και αποτελεί βασικό κριτήριο στην καύση του λιγνίτη και συνεπώς στις απώλειες του λέβητα, αξίζει να σημειωθεί πως τόσο η μικρή όσο και η μεγάλη παροχή αέρα καύσης, σε συνδυασμό με τον παρασιτικό αέρα, έχουν τα αντίστοιχα μειονεκτήματα. Μικρή παροχή αέρα σημαίνει έλλειψη της αναγκαίας τιμής O_2 στο θάλαμο καύσης, μικρή πίεση αέρα καύσης και καύση του λιγνίτη σε περιοχή υψηλότερη από την εστία καύσης. Αντιθέτως, η μεγάλη παροχή αέρα καύσης προκαλεί μεγάλη περίσσεια οξυγόνου στο λέβητα όπου αυτό με τη σειρά του συνεπάγεται:

- αύξηση του όγκου των καυσαερίων
- επιπλέον κατανάλωση καυσίμου για τη θέρμανση της επιπλέον ποσότητας αέρα
- μεγάλη ταχύτητα καυσαερίων
- μικρό διαθέσιμο χρόνο καύσης
- περίσσεια θερμικής ενέργειας παραμένουσα στο θάλαμο καύσης
- τα καυσαέρια δεν ψύχονται όσο πρέπει δίνοντας την κατάλληλη θερμική ενέργεια στους αυλούς και συνεπώς εξέρχονται θερμότερα (δεν υπάρχει χρόνος και δυνατότητα μεταφοράς όλης της θερμικής ενέργειας μέσω επαφής)

Η πίεση του αέρα καύσης επηρεάζει και αυτή με τη σειρά της την ύπαρξη ακαύστων, καθώς σε περίπτωση μικρής πίεσης αέρα καύσης εμφανίζεται CO και άκαυστα προϊόντα στην υγρή τέφρα ως αποτέλεσμα της κακής ανάμιξης των κόκκων του καυσίμου με τον αέρα καύσης. Αυτό οδηγεί στην απώλεια της δυνατότητας επαφής όλων των κόκκων του καυσίμου με το O_2 του αέρα. Η ρύπανση του λέβητα οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας των καυσαερίων και σε μικρό διαθέσιμο χρόνο για την καύση, έχοντας ως αποτέλεσμα αυτών την εμφάνιση ακαύστων στην ιπτάμενη τέφρα.

Αναφορικά με την κοκκομετρία του καυσίμου, σε περίπτωση που εντοπίζεται μεγάλο μέγεθος κόκκων καυσίμου, παρατηρείται μείωση της επιφάνειας επαφής του καυσίμου με το O_2 και συνεπώς ατελή καύση (δύσκολη απελευθέρωση των πτητικών και της υγρασίας). Τελικά, και σε αυτήν την περίπτωση, εντοπίζονται άκαυστοι κόκκοι καυσίμου στην υγρή και στην ιπτάμενη τέφρα.

Από το περίβλημα του λέβητα, τα επιστόμια και τους αγωγούς ατμού προκύπτουν οι απώλειες θερμικής ακτινοβολίας. Από τα γυμνά σημεία του κελύφους του λέβητα και των αγωγών έχουμε θερμική απώλεια προς το περιβάλλον με ακτινοβολία ανάλογη της θερμοκρασίας. Τέλος, οι απώλειες νερού – ατμού προς το περιβάλλον είναι διαρροές από διάφορα επιστόμια ή βαλβίδες και αποτελούν θερμική ενέργεια η οποία έχει παραχθεί καταναλώνοντας καύσιμο και δεν την εκμεταλλευόμαστε με αποτέλεσμα να παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα ατμού από ότι θα έπρεπε για το ίδιο έργο.



Σχήμα 22

Προτάσεις αντιμετώπισης και ελάττωσης των απωλειών

Όσον αφορά αρχικά τον παρασιτικό αέρα προτείνεται να γίνουν εργασίες βελτιστοποίησης της στεγανοποίησης κατά τη διάρκεια της γενικής συντήρησης:

- των flaps της τειρολεκάνης
- των εκκαπνιστών στα σημεία εισόδου τους στο λέβητα
- των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων των μύλων στα σημεία ένωσης τους με το λέβητα
- των κιβωτίων καυστήρων λιγνίτη
- των μηχανισμών στεγανοποίησης των LUVO
- των διαστολικών των αγωγών καυσαερίων των LUVO

Στη συνέχεια, για τη ρύπανση του λέβητα προτείνεται:

- Βελτιστοποίηση των μεθόδων καθαρισμού του λέβητα κατά τη διάρκεια των συντηρήσεων (αλλαγή της διαδικασίας παραλαβής των έργων καθαρισμού, καθορισμός δεικτών ποιότητας καθαρισμού)
- Βελτιστοποίηση του τρόπου με τον οποίο γίνεται ο εκκαπνισμός του λέβητα (αυτόματη εκκίνηση του εκκαπνισμού ανάλογα με τις θερμοκρασίες του Υ/Θ - Α/Θ ατμού)

Τέλος, όσον αφορά την κοκκοποίηση του λιγνίτη οι προτάσεις που γίνονται είναι οι εξής:

- Βελτίωση ποιότητας υλικού πλακών στροφείων
- Συστηματική συντήρηση εξοπλισμού του συστήματος σπαστήρα

Επιπλέον έλεγχος και βελτιστοποίηση της παραγωγής ακούστων

Ρύθμιση των Damper αέρα καύσης: Η ρύθμιση των damper αέρα καύσης έχει σαν στόχο:

- Να οδηγήσει το καύσιμο προς τον πυθμένα της εστίας. Έτσι αυξάνεται η διαθέσιμη διαδρομή και ο διαθέσιμος χρόνος καύσης των κόκκων του καυσίμου
- Το άνοιγμά τους να είναι τόσο ώστε να παρέχεται η αναγκαία ποσότητα αέρα με την υψηλότερη δυνατή πίεση(όχι τελείως ανοιχτά γιατί τότε θα έχουμε μείωση της πίεσης αέρα)

Μύλοι λιγνίτη: Τον έλεγχο της αποδοτικότητας ενός μύλου λιγνίτη τον επιτυγχάνουμε:

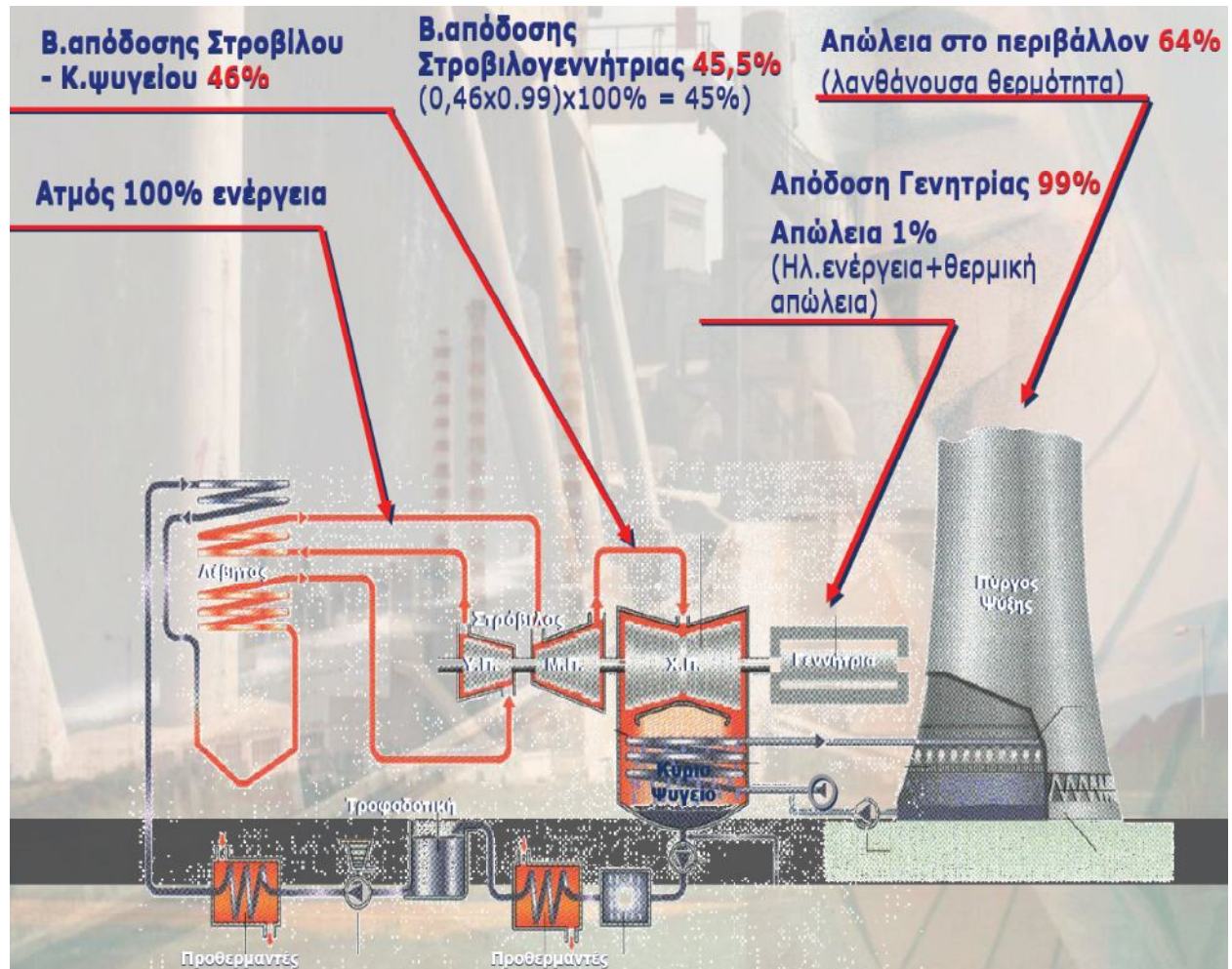
- Από τη διαπίστωση για το πόσο υψηλό ΔΡ(πίεση αναρρόφησης - πίεση κατάθλιψης μύλου) μπορεί να δημιουργήσει. Όσο μικρότερο είναι αυτό το ΔΡ, τόσο μειωμένη είναι και η ικανότητα του μύλου
- Από τον έλεγχο της ρύθμισης και της κατάστασης των damper ανακυκλοφορίας. Όσο πιο ανοιχτά είναι τα damper ανακυκλοφορίας τόσο αυξάνεται η ικανότητα του μύλου αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται και η διάμετρος των κόκκων λιγνίτη(δεν κοκκοποιείται καλά ο λιγνίτης διότι ανακυκλοφορεί μικρότερη ποσότητα)
- Από τον έλεγχο της κατάστασης των αγωγών ισχυρών και ασθενών λιγνίτη(να είναι ελεύθερη και χωρίς εμπόδια η είσοδος του καυσίμου στον λέβητα)

Λειτουργική κατάσταση των προθερμαντών αέρα (LUVO): Η καλή λειτουργική κατάσταση των LUVO είναι σημαντικός παράγοντας για τη διατήρηση και τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα και κατ' επέκταση του βαθμού απόδοσης όλης της μονάδας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την καλή λειτουργική τους κατάσταση είναι:

- Διαφορά πίεσεως ΔΡ LUVO πλευράς καυσαερίων: Δείχνει τον βαθμό καθαρότητας του LUVO. Όσο μεγαλύτερο είναι το ΔΡ, τόσο πιο ρυπαρές είναι οι κυψέλες του LUVO με συνέπεια την απώλεια θερμότητας από τα καυσαέρια(δεν εκμεταλλευόμαστε όλη την ποσότητα της θερμότητας των καυσαερίων για να προθερμάνουμε τον αέρα καύσης). Συνεπώς στον λέβητα οδηγείται πιο κρύος αέρας
- Καλή στεγανότητα LUVO: Η κακή στεγανότητα του LUVO αυξάνει τις απώλειες από πτώση πίεσης των καυσαερίων και του αέρα με αποτέλεσμα για την ίδια παροχή αέρα να απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Αύξηση της παροχής των καυσαερίων συνεπώς και της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα I.D.F
- Αύξηση της παροχής του αέρα μέσω των F.D.F. λόγω της εισροής μιας ποσότητας αέρα στα καυσαέρια και συνεπώς και της ηλεκτρικής ενέργειας που αυτά καταναλώνουν

Βαθμός απόδοσης στροβίλου

Οι απώλειες που αφορούν το στρόβιλο μιας μονάδας είναι και αυτές θερμικές και οι παράγοντες που επιδρούν είναι η φθορά των λαβυρίθων του στροβίλου, η κατάσταση των περυγίων, οι απώλειες θερμικής ακτινοβολίας από τα κελύφη, εσωτερικές ή εξωτερικές διαρροές ατμού και κακό κενό του κυρίου ψυγείου.



Σχήμα 23

Αναλυτικότερα:

- φθορά στο σύστημα στεγανοποίησης του στροβίλου: ένα μέρος του ατμού που θα μπορούσε να αποδώσει έργο στο στρόβιλο οδηγείται στο δίκτυο λαβυρίθων αυξάνοντας την πίεση και τη ροή θερμότητας προς το κύριο ψυγείο ή διαφεύγει στο περιβάλλον
- εσωτερικές ή εξωτερικές διαρροές: οι διαρροές ατμού είναι θερμική ενέργεια η οποία έχει παραχθεί καταναλώνοντας καύσιμο και δεν την εκμεταλλευόμαστε, με αποτέλεσμα να παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα ατμού – νερού από ότι θα έπρεπε για το ίδιο φορτίο
- απώλειες ακτινοβολίας από τα κελύφη στροβίλου: από τα γυμνά σημεία των κελυφών έχουμε θερμική απώλεια προς το περιβάλλον με ακτινοβολία ανάλογη της θερμοκρασίας και δεν εκμεταλλευόμαστε πλήρως το θερμικό περιεχόμενο του καυσίμου που καταναλώθηκε

- κατάσταση πτερυγίων και διάκενων του στροβίλου: δεν επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση σύμφωνα με το σχεδιασμό του στροβίλου (δεν εκτονώνεται ο ατμός στην πίεση σχεδιασμού)

Ποιότητα λιγνίτη

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του Β.Α. του ΑΗΣ παίζει και η ποιότητα του λιγνίτη, αφού για χαμηλότερη ποιότητα λιγνίτη έχουμε και χαμηλότερο βαθμό απόδοσης αντίστοιχα και το αντίστροφο, εφόσον η χαμηλή θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη δεν αποφέρει τα επιθυμητά θερμικά αποτελέσματα. Αναλυτικότερα:

Η κατανάλωση του λιγνίτη Q_k για παραγωγή ενέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$Q_k = \frac{Q_e \times 860}{B.A. \times K.\Theta.I.}$$

Όπου:

Q_e : Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε χρόνο 1 ώρας

$K\Theta I$: Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου σε Kcal/Kg

Q_k : Κατανάλωση λιγνίτη σε th/h

$B.A.$: βαθμός απόδοσης της μονάδας επί τοις %/100 ο οποίος επηρεάζεται και είναι συνάρτηση της θερμογόνου ικανότητας (ΚΘΙ)

Για κάθε παραγόμενη MWh, την κατανάλωση λιγνίτη την ονομάζουμε ειδική κατανάλωση και δίδεται από την σχέση:

$$\frac{Q_k}{Q_e} = \frac{860}{B.A. \times K.\Theta.I.}$$

Με συμβατική ποιότητα λιγνίτη, μια ενδεικτική τιμή του βαθμού απόδοσης μιας μονάδας του ΑΗΣ είναι 38 % με ΚΘΙ=1300 Kcal/Kg, συνεπώς η ειδική κατανάλωση είναι :

$$\frac{Q_k}{Q_e} = \frac{860}{0,38 \times 1300} = 1.74$$

Η έννοια της ειδικής κατανάλωσης = 1,7 Kg/KWh ή 1,7 tn/MWh ερμηνεύεται ως εξής :

για κάθε 1 MWh απαιτείται ποσότητα λιγνίτη 1,7 tn, θερμογόνου ικανότητας (Κ.Θ.Ι) 1300 Kcal/Kg για συγκεκριμένο όμως βαθμό απόδοσης (στην περίπτωση του παραδείγματος 38 %). Η ειδική κατανάλωση είναι συνάρτηση της ποιότητας του λιγνίτη και του βαθμού απόδοσης της μονάδας.

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Γενικά

Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, οι περιβαλλοντικοί όροι και οι διεθνείς συνθήκες επιβάλλουν στις εταιρίες παραγωγής να λειτουργούν ακόμη πιο αποδοτικά, οικονομικά και φιλικά προς το περιβάλλον. Εξαιτίας αυτής της εξελίξιμης, απαιτητικής και απρόβλεπτης κατάστασης, οι σταθμοί παραγωγής ψάχνουν να βρουν τρόπους ώστε να συμμορφωθούν με τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς, ενώ παράλληλα να λειτουργούν πιο παραγωγικά, αξιόπιστα και κερδοφόρα.

Διάφορες εταιρείες έχουν αναπτύξει και διαθέσει στην αγορά ολοκληρωμένα συστήματα ελέγχου και διαχείρισης δεδομένων, που αφορούν στον έλεγχο της λειτουργίας των σταθμών παραγωγής και είναι σε θέση να συμβάλλουν προς όλες τις παραπάνω κατευθύνσεις, βοηθώντας τις εταιρίες να ανταπεξέλθουν στις τρέχουσες απαιτήσεις. Η παρακολούθηση της λειτουργίας των σταθμών θα ήταν πολύ δύσκολη έως αδύνατη χωρίς τη χρήση τέτοιων προγραμμάτων. Το κάθε σύστημα παρέχει στο προσωπικό του σταθμού τις αναγκαίες πληροφορίες, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να προσαρμοστεί σε κάθε τύπο εργοστασίου. Επίσης, μπορεί να συνδεθεί με όλους τους αυτοματισμούς του σταθμού, γεγονός που εγγυάται την αποτελεσματική συνεργασία διαχείρισης και λειτουργίας. Τα προγράμματα αυτά ονομάζονται πράκτορες λογισμικού. Η καινοτομία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη νέα γενιά των συστημάτων αυτών, είναι τα πρόσθετα βοηθητικά εργαλεία που διαθέτουν για την παρακολούθηση του σταθμού σε βάθος χρόνου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ευκολότερη η παρατήρηση των σημαντικών, για την ασφαλή λειτουργία του σταθμού, μεγεθών.

Κάποιες από τις εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην ανάπτυξη τέτοιων λογισμικών είναι οι Metso-DNA, η Siemens και η ABB. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέθοδοι για την παρουσίαση της πληροφορίας δίνοντας έμφαση στο πρόγραμμα της εταιρίας Metso-DNA που χρησιμοποιείται στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

Πράκτορες Λογισμικού (Λογισμικό Εποπτείας)

Ο πράκτορας λογισμικού είναι ένα υπολογιστικό σύστημα ή μια οντότητα λογισμικού που βρίσκεται εγκατεστημένο σε ένα περιβάλλον και έχει την ικανότητα αυτόνομης δράσης σε αυτό το περιβάλλον. Έχει την δυνατότητα να διαχειρίζεται και να ανταλλάσσει πληροφορία με άλλους πράκτορες ή και με ανθρώπους, μέσα σε ένα σύστημα. Αποτελεί, δηλαδή μια υπολογιστική βάση συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, όπου συνδέεται με τους αυτοματισμούς και τους αισθητήρες του σταθμού, συλλέγει τα μετρούμενα δεδομένα, τα αναλύει και τα συγκρίνει βάσει των επιθυμητών δεδομένων που του έχει θέσει αρχικά ο χρήστης. Ταυτόχρονα, κάνει τις απαραίτητες επεμβάσεις στη διαδικασία παραγωγής ή δίνει σφάλμα ανάλογα με το τι ενέργεια έχει προγραμματιστεί να πράξει. Τα συλλεγόμενα δεδομένα και όλη η παραπάνω διαδικασία απεικονίζονται γραφικά μέσω υπολογιστών στις αίθουσες ελέγχου του σταθμού σε πραγματικό χρόνο.

Αν και ένα πρακτορικό σύστημα μπορεί να βασίζεται σε ένα και μοναδικό πράκτορα, συνήθως στην πράξη συναντούμε συστήματα με περισσότερους πράκτορες. Οι πράκτορες

που δρουν σε τέτοια συστήματα είναι δυνατό να έχουν κοινούς ή και συγκρουόμενους στόχους. Τότε κάνουμε λόγο για πολυπρακτορικά συστήματα. Τα πολυπρακτορικά συστήματα επιδεικνύουν χαρακτηριστικά σχεδόν ανθρώπινα όπως είναι η αυτονομία, η προνοητικότητα και η προσαρμοστικότητα. Με τη χρήση πολυπρακτορικών συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί σταθερότητα αφού κάθε διαφορετικό στοιχείο του ελέγχου λειτουργίας αντιπροσωπεύεται από έναν αυτόνομο πράκτορα λογισμικού που έχει ως στόχο να επιτύχει την αποστολή του, και συνεπώς να συμβάλει στο συνολικό στόχο της βελτιστοποίησης της απόδοσης. Στα πολυπρακτορικά συστήματα, δηλαδή, κάθε πράκτορας αναλαμβάνει διαφορετικές λειτουργίες και πεδία ευθυνών. Οι πράκτορες λογισμικού που απαρτίζουν το πολυπρακτορικό σύστημα ενός ΑΗΣ είναι επεκτάσεις αυτών των τύπων πρακτόρων:

- Πράκτορας Επόπτης
- Πράκτορας Αισθητήρα
- Πράκτορας Επιτηρητής Μετρήσεων
- Πράκτορας ΕΔ
- Πράκτορας Συνθηκών
- Πράκτορας Υποδείξεων
- Πράκτορας Διανομής
- Πράκτορας Αλληλεπίδρασης Χρήστη
- Πράκτορας Συγχρονισμού
- Πράκτορας ΒΔ Εφαρμογής

Επιπλέον, η ικανότητά των πρακτόρων λογισμικού να διαχειρίζονται με ευελιξία, κατά το χρόνο εκτέλεσης, πολλαπλές πηγές δεδομένων και πολλαπλές προοπτικές επίλυσης προβλημάτων παρέχει τεράστια ευρωστία στο συνολικό σύστημα, διότι ακόμα και εάν ένας από τους πράκτορες χαλάσει, το σύστημα θα μπορέσει να παρέχει τις υπηρεσίες του στηριζόμενο στους υπόλοιπους πράκτορες. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού χρησιμοποιείται ως παράμετρος εισόδου για την απόφαση να ξεκινήσει η διαδικασία του εκκαπνισμού. Αυτή η απόφαση στηρίζεται σε ένα μοντέλο που προέρχεται από την εφαρμογή των αλγορίθμων δεδομένων στα ιστορικά δεδομένα λειτουργίας του ΑΗΣ. Εάν ο υπεύθυνος πράκτορας για αυτή τη μεταβλητή αποτύχει να δώσει εγκαίρως την τιμή της, τότε επιλέγει μια εναλλακτική λύση η οποία δεν περιλαμβάνει αυτήν την παράμετρο. Η ύπαρξη εφεδρικών λύσεων κατά το σχεδιασμό αυξάνει την ευρωστία της εφαρμογής.

Μια προσέγγιση βασισμένη σε πράκτορα λογισμικού αποτελεί μια φυσική αναπαράσταση του εργατικού περιβάλλοντος. Ενδεικτικά, οι εργαζόμενοι του εργοστασίου συνεργάζονται για να χειριστούν κρίσιμες καταστάσεις. Κάθε ένας εργάζεται για διαφορετικούς σκοπούς που αποτελούν μέρος της συνολικής λύσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ανταλλάσσουν πληροφορίες, ώστε να εξασφαλιστεί ότι μια συνεπής, κοινή πορεία δράσης ακολουθείται. Οι πράκτορες έχουν σχεδιαστεί για να ενεργούν με παρόμοιο τρόπο.

Όπως προαναφέρθηκε, η απεικόνιση και λειτουργίες του σταθμού μέσω των πρακτόρων λογισμικού γίνονται μέσω γραφικών διεπαφών στα control room των εκάστοτε μονάδων. Οι γραφικές διεπαφές χρήστη αναπτύσσονται σε σταθερούς υπολογιστές (desktops). Μέσα σ' αυτό, λοιπόν, το πλαίσιο παρακολούθησης - ενημέρωσης, ο χρήστης της συσκευής θα είναι σε θέση να παρακολουθεί τις τιμές διαφόρων μεγεθών, τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για

μια ολοκληρωμένη άποψη της λειτουργίας του ΑΗΣ, ανάλογα με τις ανάγκες κάθε θέσης. Επίσης, θα μπορεί να λαμβάνει μηνύματα σε περίπτωση κάποιας επείγουσας κατάστασης ή ακόμη και να στέλνει κάποια πληροφορία-υπόδειξη στα υπόλοιπα μέλη του προσωπικού του σταθμού.

Ένα πρόβλημα που εμφανίζεται στα συστήματα ελέγχου της λειτουργίας των ΑΗΣ είναι αυτό της προσαρμοστικότητας της εφαρμογής με τα ειδικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε σταθμού. Μπορούμε, λοιπόν, να καταλάβουμε ότι η εγκατάσταση ενός πολυπρακτορικού συστήματος εξατομικεύεται για κάθε εγκατάσταση. Ο σχεδιαστής, επομένως, τέτοιων εφαρμογών θα πρέπει να γνωρίζει εις βάθος τη λειτουργία και την τοπολογία των διαφόρων υποσυστημάτων του σταθμού ώστε να προβεί στην υλοποίησή τους. Για παράδειγμα, πρέπει να γνωρίζει ποια μεγέθη (π.χ. θερμοκρασία, πίεση) είναι σημαντικά ώστε αυτά να απεικονίζονται σε εμφανείς θέσεις στις οθόνες των χειριστών.

Η διαδρομή της πληροφορίας (π.χ. η τιμή ενός μεγέθους) από το όργανο μέτρησης μέχρι την οθόνη του χειριστή περιλαμβάνει μια σειρά από ελέγχους, ώστε η ακρίβειά της να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Για την μέτρηση ενός μεγέθους χρησιμοποιούνται δύο ή τρία ή ακόμη και περισσότερα όργανα, ανάλογα με την κρισιμότητα του μεγέθους αυτού. Συνήθως, περιλαμβάνεται μία σύγκριση ανάμεσα στις τιμές των οργάνων που μετρούν το ίδιο μέγεθος (π.χ. την θερμοκρασία ατμού στο ίδιο σημείο) και βάσει κανόνων επιλέγεται ο μέσος όρος.

Ένα άλλο σύνηθες πρόβλημα, που παρουσιάζεται στην απεικόνιση ενός υποσυστήματος (π.χ. κύκλος αέρα καύσης και καυσαερίων) ενός ΑΗΣ είναι ο χειρισμός του μεγάλου πλήθους των μεταβλητών που εμφανίζονται. Αξίζει να σημειωθεί πως από κάθε μονάδα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου στέλνονται κάθε στιγμή περίπου 7.000 αναλογικά και ψηφιακά σήματα. Είναι προφανές, λοιπόν, η δυσκολία απεικόνισης και παρακολούθησης όλων των τιμών. Γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω, ότι δεν είναι δυνατή η παρουσίαση όλης της πληροφορίας σε μία μόνο οθόνη. Έτσι, οι εφαρμογές αυτού του είδους χαρακτηρίζονται από αφαιρετικότητα, δίνουν δηλαδή τη δυνατότητα στο χρήστη να επιμερίζει το ολικό σύστημα σε μικρότερα ώστε να είναι πιο εύκολη και αναλυτική η ανάγνωση των επιθυμητών μεγεθών.

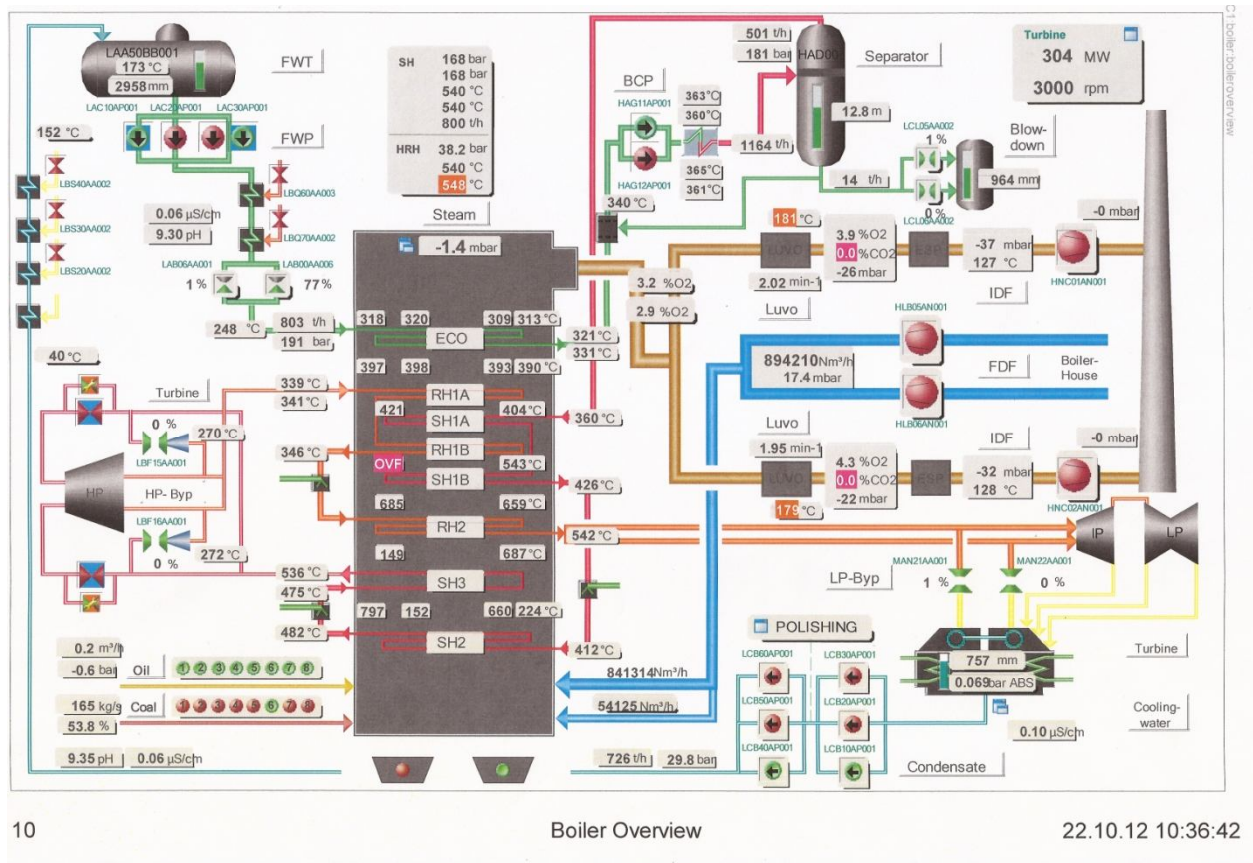
Η πλατφόρμα παρακολούθησης λειτουργίας Metso-DNA στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Η Metso-DNA CR είναι μία πλατφόρμα νέας γενιάς, που σχετίζεται με την αυτοματοποίηση και την παρουσίαση πληροφοριών. Καλύπτει όλους τους ελέγχους για ολόκληρη την διαδικασία, τις μηχανές ξεχωριστά και παρέχει οδηγούς χρήσης, καθώς και μηχανική παρακολούθηση της κατάστασης σε μία ενιαία πλατφόρμα. Βρίσκει εφαρμογή σε πάρα πολλές περιπτώσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα μικροσύστημα μέχρι και το εργοστάσιο. Παρέχει εργαλεία τα οποία δίνουν την δυνατότητα να διαμοιράζονται πληροφορίες και γνώση επιτρέποντας έτσι μία ευρεία επικοινωνία. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται η ροή της πληροφορίας με τη βοήθεια της συγκεκριμένης πλατφόρμας.



Σχήμα 24. Η ροή της πληροφορίας με την πλατφόρμα Metso-DNA

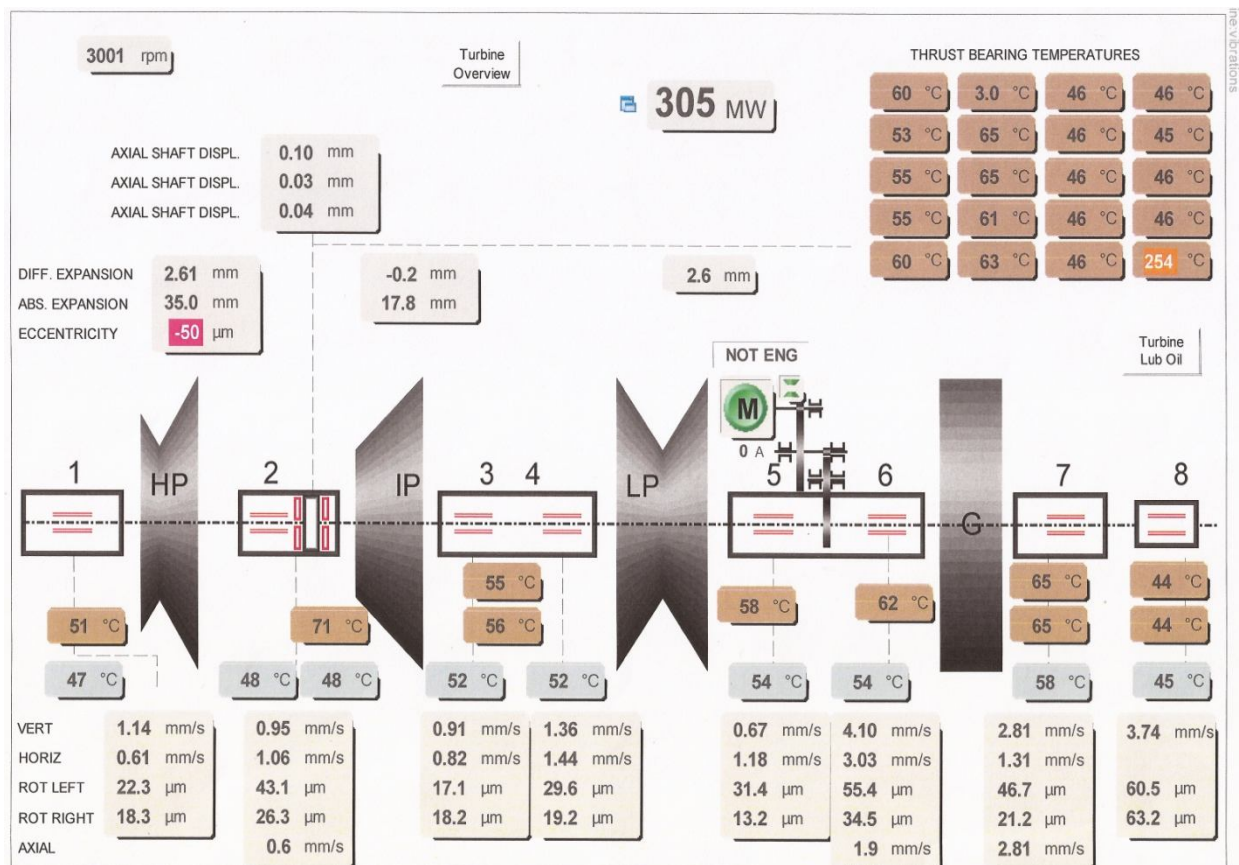
Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις πληροφορίες που εμφανίζονται στις οθόνες των control room του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και αφορούν διάφορα στάδια της λειτουργίας του. Τα στιγμιότυπα προέρχονται από το λογισμικό πολυπρακτορικών συστημάτων της Metso - DNA.



Σχήμα 25. Γραφική αναπαράσταση λέβητα, κυκλώματος νερού και καυσασερίων

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε το στιγμιότυπο εικόνας από την επισκόπηση του συστήματος νερού, καυσασερίων καθώς και των λειτουργιών του λέβητα. Ορισμένες ετικέτες της οθόνης είναι ενεργές, που σημαίνει ότι επιλέγοντάς τις ανοίγει ένα νέο παράθυρο με

διαφορετική λειτουργία κάποιου άλλου κυκλώματος. Για παράδειγμα, επιλέγοντας την ετικέτα με όνομα TURBINE αναδύεται ένα νέο παράθυρο (Σχ.) στο οποίο φαίνεται αναλυτικότερα η συγκεκριμένη περιοχή του κύκλου. Στην προκειμένη περίπτωση το παράθυρο που εμφανίζεται παρουσιάζει πληροφορίες θερμοκρασιών και πιέσεων ατμού HP, IP και LP και κατάσταση βαλβίδων και επιστομιών. Αξίζει να παρατηρήσουμε επίσης τις τιμές της στήλης αριστερά, όπου αναφέρονται τιμές που πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς.



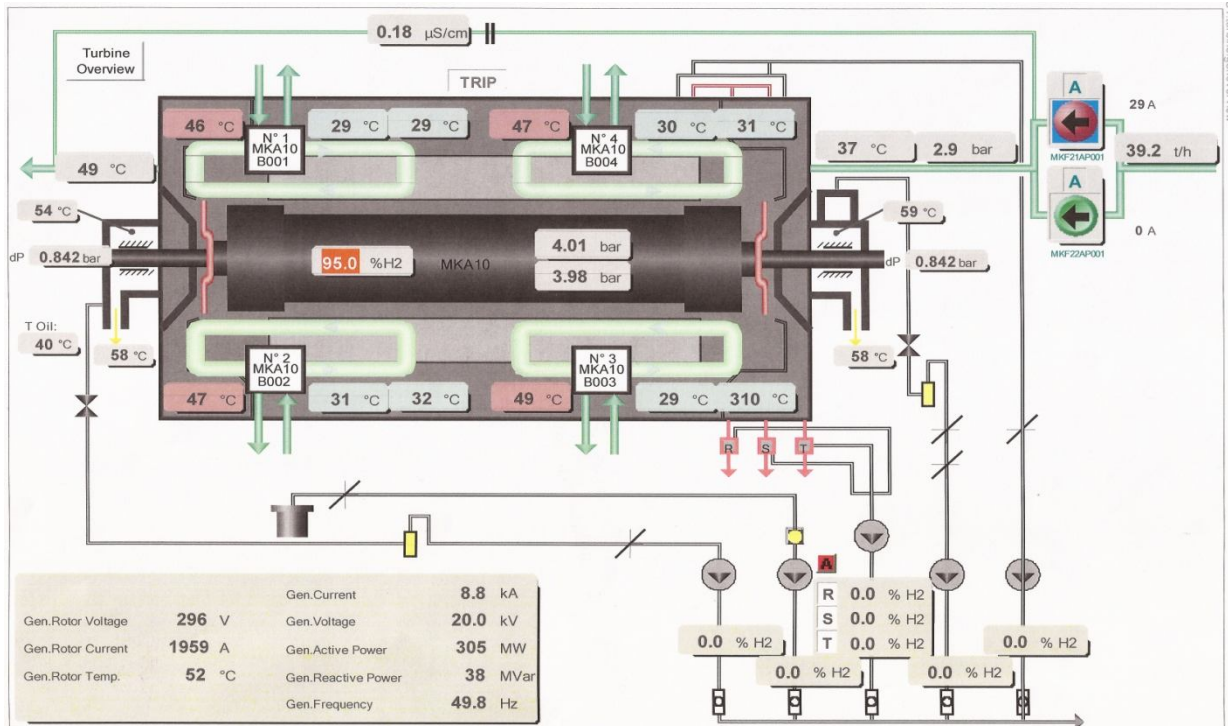
31.3

Vibrations and Expansions

22.10.12 10:29:12

Σχήμα 26. Απεικόνιση τιμών δονήσεων, κάμψης και δυνάμεων του άξονα στροβίλου

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε τιμές δονήσεων και δυνάμεων που ασκούνται στον άξονα του στροβίλου μιας μονάδας καθώς και κάποιες τιμές θερμοκρασίας. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι κρίσιμες τιμές που χρήζουν επίβλεψης και επιδιόρθωσης τονίζονται χρωματικά.

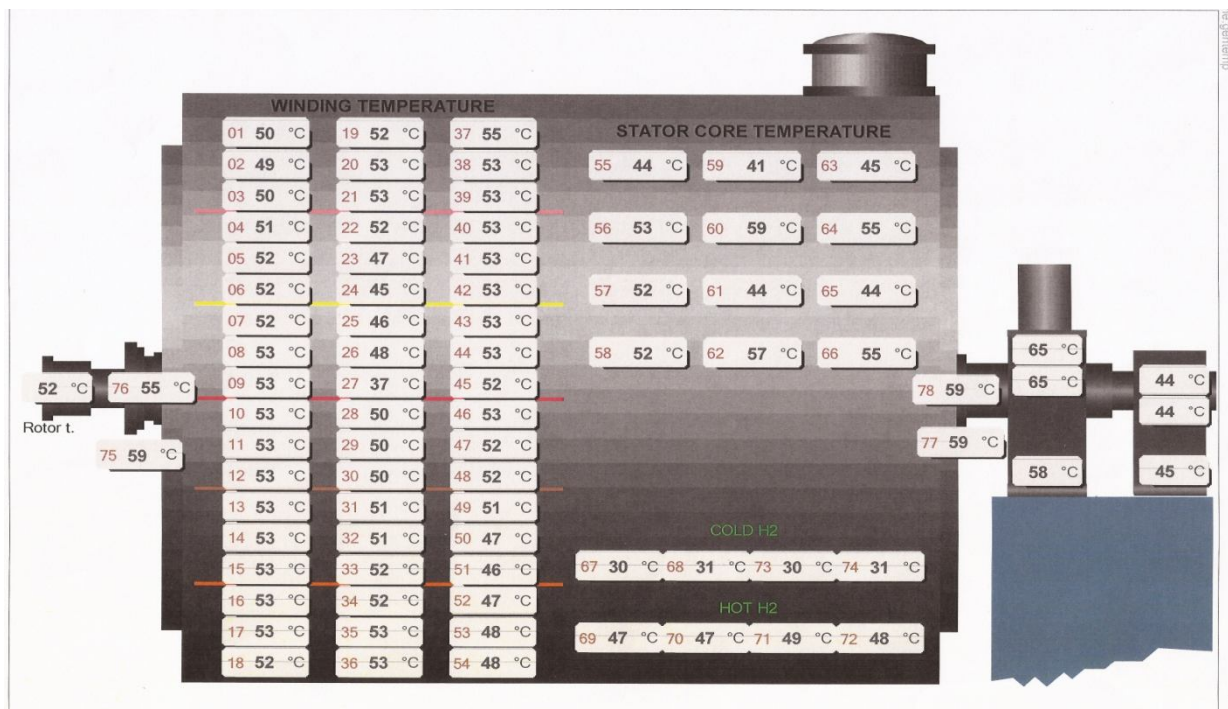


32

Generator Overview

22.10.12 10:39:59

Σχήμα 27. Απεικόνιση γεννήτριας και συστήματος ψύξης αυτής

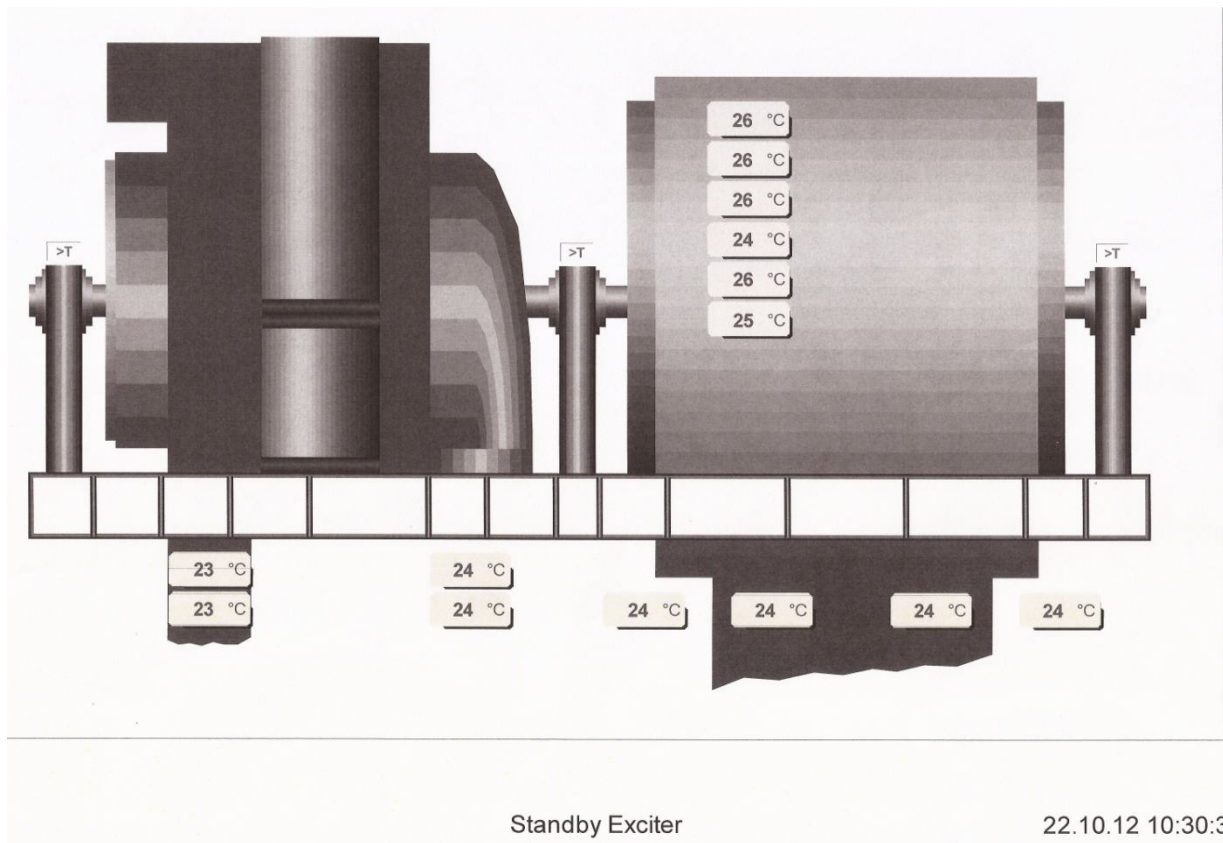


32.2

Generator Temperatures

22.10.12 10:29:33

Σχήμα 28. Δειγματοληψία θερμοκρασιών στάτη και δρομέα γεννήτριας



Σχήμα 29. Θερμοκρασίες συστήματος διέγερσης

Σημαντική είναι επίσης η δυνατότητα που παρέχει το λογισμικό για φιλτράρισμα και αναφορά διαφόρων γεγονότων. Ο χρήστης αρχικά επιλέγει το χρονικό διάστημα για το οποίο θα γίνει η αναζήτηση των γεγονότων. Στη συνέχεια επιλέγει το είδος των γεγονότων που θέλει να εμφανιστούν. Τα είδη των γεγονότων είναι τα παρακάτω:

- Alarm: Επιλέγεται για να εμφανιστούν μεγέθη που έχουν ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια.
- Notification: Επιλέγεται για να εμφανιστούν οι αλλαγές κατάστασης στη μονάδα (π.χ. εκκίνηση κινητήρα).
- Operation: Επιλέγεται για να εμφανιστούν οι χειρισμοί που έχουν γίνει από το προσωπικό της αίθουσας ελέγχου.
- Mask: Επιλέγεται για να μην συμπεριληφθούν στην αναζήτηση γεγονότα που δεν επιθυμεί ο χρήστης.

Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της προτεραιότητας καθώς και του υποσυστήματος στο οποίο ο χρήστης θέλει να γίνει η αναζήτηση (π.χ. υποσύστημα αέρα, υποσύστημα τροφοδοσίας νερού). Τα αποτελέσματα της αναφοράς δίνονται στο κάτω μέρος της οθόνης. Σε κάθε γραμμή και από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται ο τύπος του γεγονότος, η ημερομηνία και ώρα που συνέβη, η προτεραιότητα, το υποσύστημα, ο κωδικός σε KKS (Kraftwerk-Kennzeichensystem) και η περιγραφή του. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι οθόνες που παρουσιάζονται στα σχήματα επιβλέπονται από τους χειριστές των αιθουσών ελέγχου, οι οποίοι παρατηρούν τις μετρήσεις και ελέγχουν την ύπαρξη σφαλμάτων. Αντίθετα, οι οθόνες των εικόνων χρησιμοποιούνται συνήθως από τους μηχανικούς για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στη λειτουργία του σταθμού.

Η ροή της πληροφορίας στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Η διαχείριση της ροής της πληροφορίας σε έναν ΑΗΣ είναι μια διαδικασία ιδιαίτερης σημασίας για την ασφαλή λειτουργία του. Η πιθανότητα ανταλλαγής εσφαλμένων μηνυμάτων ανάμεσα στους εργαζόμενους πρέπει να είναι ελάχιστη έως μηδενική. Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί η ιεραρχία του ατμοηλεκτρικού σταθμού του Αγίου Δημητρίου, οι αρμοδιότητες κάθε βαθμίδας, ο τρόπος της μεταξύ τους επικοινωνίας καθώς και η πληροφορία που ανταλλάσσεται ανάμεσα στο προσωπικό του σταθμού.

Στην κορυφή της ιεραρχίας βρίσκεται ο γενικός διευθυντής του εργοστασίου, ο ρόλος του οποίου συνίσταται στην εποπτεία όλων των επιμέρους λειτουργιών του εν λόγω συστήματος, συμπεριλαμβανομένων τόσο του έμψυχου δυναμικού όσο και της αξιοποίησης της υλικής υποδομής). Ο διευθυντής λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με όλους τους τομείς εργασίας της εργοστασιακής μονάδας. Οι αρμοδιότητές του περιλαμβάνουν τη λήψη διοικητικών αποφάσεων, όπως η ανανέωση του εξοπλισμού, η διαχείριση των ανθρώπινων πόρων, η διαρκής παρακολούθηση των οικονομικών εισροών κι εκροών κ.α.

Στο επόμενο επίπεδο της ιεραρχίας βρίσκονται οι υπεύθυνοι των τομέων οι οποίοι είναι μηχανικοί . Οι τομείς του ΑΗΣ είναι οι εξής τρεις: ο τομέας λειτουργίας, ο τομέας συντήρησης και ο τομέας διοίκησης / οικονομικών. Οι υπεύθυνοι έχουν πρόσβαση στη ροή της πληροφορίας σε επίπεδο αναφορών (ημερήσιες, συγκεντρωτικές κ.α.), αλλά και της τρέχουσας κατάστασης γενικότερα. Κύριο αντικείμενο της εργασίας τους είναι ο συντονισμός και η ορθή λειτουργία του τομέα ευθύνης τους. Επιπλέον, έρχονται σε επικοινωνία με το προσωπικό στις αίθουσες ελέγχου προκειμένου να υποδείξουν κάποια ενέργεια, παρεμβαίνοντας έτσι στη λειτουργία του εργοστασίου. Το συγκεκριμένο εργοστάσιο αποτελείται από πέντε μονάδες. Για την εποπτεία της λειτουργίας τους υπάρχουν τρεις αίθουσες ελέγχου. Το προσωπικό της πρώτης είναι υπεύθυνο για τις μονάδες I και II, της δεύτερης για τις μονάδες III και IV, ενώ αυτό στην τρίτη αίθουσα επιβλέπει την μονάδα V. Σε κάθε αίθουσα υπάρχουν οθόνες που απεικονίζουν πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία ολόκληρου του εργοστασίου. Σε περίπτωση σφάλματος ή βλάβης εμφανίζεται στους χειριστές των αιθουσών η αντίστοιχη ένδειξη. Αν η βλάβη είναι σημαντική, τότε ενημερώνεται ο μηχανικός ο οποίος αποφασίζει για τη διαχείριση της κατάστασης και δίνει εντολή στους τεχνίτες για να παρέμβουν.

Οι τεχνίτες βρίσκονται στην τελευταία βαθμίδα της ιεραρχίας και επικοινωνούν με το προσωπικό στις αίθουσες ελέγχου για να αναφέρουν βλάβες μηχανικές ή ηλεκτρονικών οργάνων και να λάβουν εντολές. Αξίζει να αναφερθεί εδώ, ότι ο κύριος τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων μελών του σταθμού είναι μέσω τηλεφώνου ή μέσω ασυρμάτων CB οι οποίοι παρέχουν φτωχή ποιότητα ήχου. Τα λάθη, συνεπώς, στην ανταλλαγή πληροφορίας μπορεί να είναι συχνά.

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τηλεθέρμανση

Στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένα τρία ανεξάρτητα συγκροτήματα παραγωγής νερού για την τηλεθέρμανση της πόλης της Κοζάνης. Με τον όρο τηλεθέρμανση εννοείται η θέρμανση των κτιρίων όχι από ατομικό καυστήρα, αλλά από έναν κεντρικό, και διανομή του θερμού νερού σε όλα τα κτίρια μιας πόλης ή ενός τμήματος μιας πόλης. Η θερμότητα, η οποία απαιτείται για τη θέρμανση του νερού της τηλεθέρμανσης, προέρχεται από τον υπέρθερμο ατμό του ΑΗΣ. Το θερμικό φορτίο αιχμής είναι 125 MWth με ετήσια θερμική ζήτηση περίπου 220.000 MWh.

Το 60% του θερμικού φορτίου αιχμής παράγεται στην μονάδα βάσης που είναι οι μονάδες III, IV και V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Το υπόλοιπο 40%, όταν αυτό απαιτείται, παράγεται σε λεβητοστάσιο αιχμής. Το λεβητοστάσιο αυτό κατασκευάστηκε στην είσοδο της πόλης ώστε η τηλεθέρμανση να εξασφαλίζεται ακόμα και σε περίπτωση που κάποια από τις μονάδες τεθεί εκτός λειτουργίας. Η ετήσια παραγωγή θερμότητας κατανέμεται κατά 90% στη μονάδα βάσης και 10% στη μονάδα αιχμής. Όπως αναφέρθηκε, το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι υπέρθερμο νερό το οποίο κυκλοφορεί μέσω κλειστού συστήματος δύο σωλήνων. Για την κυκλοφορία του νερού υπάρχουν εγκατεστημένα στο σύστημα τρία αντλιοστάσια A1, A2, A3.

Το συνολικό σύστημα τηλεθέρμανσης είναι σχεδιασμένο να εξυπηρετεί τις καταναλώσεις με θερμοκρασίες υπέρθερμου νερού προσαγωγής οι οποίες κυμαίνονται εποχιακά μεταξύ 90° C και 120° C. Οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις κτιρίων επιτρέπουν θερμοκρασίες επιστροφής κυμαινόμενες εποχιακά μεταξύ 55° C και 70° C. Η μορφολογία του εδάφους και οι υδραυλικές συνθήκες του δικτύου οδήγησαν στον σχεδιασμό ενός δικτύου διανομής ονομαστικής πίεσης 25 bar. Η επιλογή της ικανότητας των αντλιοστασίων και η ρύθμιση της παροχής με μεταβολή του αριθμού στροφών των αντλιών έγιναν έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση η τροφοδοσία των πιο απομακρυσμένων καταναλωτών. Το δίκτυο διανομής αποτελείται από αγωγούς μονωμένους και εγκατεστημένους απευθείας στο έδαφος. Οι αγωγοί φέρουν μόνωση από πολυουρεθάνη και προστατευτικό περίβλημα από πολυαιθυλένιο.

Το λεβητοστάσιο αιχμής αποτελείται από 3 λέβητες των 10 MW ο καθένας και ένα λέβητα 27,5 MW. Οι λέβητες είναι φλογοανλωτοί τριπλής διαδρομής και ο καθένας φέρει δύο καυστήρες πετρελαίου και υγραερίου (L.P.G.). Το αντλιοστάσιο A1 αποτελείται από 6 αντλητικά συγκροτήματα παράλληλα μεταξύ τους. Τα 2 αντλητικά συγκροτήματα είναι παροχής 400 m³/h και τα 4 είναι 630 m³/h. Τα αντλιοστάσια A2 και A3 είναι όμοια και το καθένα αποτελείται από 4 αντλητικά συγκροτήματα (3+1 εφεδρικό) παράλληλα μεταξύ τους. Το κάθε αντλητικό συγκρότημα είναι παροχής 380 m³/h. Όλα τα αντλητικά συγκροτήματα είναι μεταβλητών στροφών με συστήματα μετατροπής συχνότητας Inverter. Οι αγωγοί μεταφοράς είναι διαμέτρου DN 450mm και για την παροχή των 1150 m³/h (70MWth) η ταχύτητα του νερού είναι 2m/s και η πτώση πίεσης 0,66 bar/Km.

Οι εγκαταστάσεις στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου αποτελούνται από τρία ανεξάρτητα συγκροτήματα παραγωγής θερμού νερού. Κάθε συγκρότημα περιλαμβάνει δύο εναλλάκτες θερμότητας κατακόρυφους και υδραυλωτούς οι οποίοι τροφοδοτούνται με ατμό από απομαστεύσεις του στροβίλου μέσης πίεσης. Οι εναλλάκτες θερμαίνουν το νερό που έρχεται

από το κλειστό κύκλωμα τηλεθέρμανσης της πόλης από τους 50°C στους 120°C. Η συνολική απόδοση των εναλλακτών των μονάδων III και IV είναι 67 MWTh. Το συγκρότημα του ζεύγους εναλλακτών στη μονάδα V έχει συνολική απόδοση 70 MWTh. Τα συγκροτήματα των εναλλακτών των μονάδων III και IV του ΑΗΣ είναι παράλληλα συνδεδεμένα έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί λειτουργήσει εναλλακτικά από την μία ή την άλλη μονάδα. Το τρίτο συγκρότημα εναλλακτών της μονάδας V λειτουργεί αυτόνομα. Οι θερμικοί υποσταθμοί των κτιρίων διαθέτουν εναλλάκτη τύπου πλακών του οποίου το ένα ρεύμα συνδέεται στο δίκτυο τηλεθέρμανσης και το άλλο στην εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης του κτιρίου.

Με την παροχή θερμικής ενέργειας στην πόλη της Κοζάνης, που χρεώνεται στους κατοίκους της σε χαμηλή τιμή, γίνεται εξοικονόμηση χρημάτων από τους καταναλωτές εφόσον η τηλεθέρμανση προτιμάται έναντι του πετρελαίου. Επίσης, βελτιώνεται αισθητά το περιβάλλον από τη ρύπανση που προκαλούν οι καυστήρες πετρελαίου τους χειμερινούς μήνες. Σημαντικό όφελος παρουσιάζεται και στο βαθμό απόδοσης του ΑΗΣ αφού μέσω του συστήματος τηλεθέρμανσης βελτιώνεται κατά 2,6%.

Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου διαθέτει τέσσερα ανεξάρτητα συστήματα για να επεξεργαστεί τα αποβαλλόμενα νερά του:

- Συγκροτήματα εξουδετέρωσης υγρών βιομηχανικών απόβλητων που προέρχονται από τις αναγεννήσεις των ιοντοεναλλακτικών ρητινών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αφαιρωμένου νερού και τον καθαρισμό του συμπυκνώματος των μονάδων
- Συγκρότημα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων, δηλαδή δύο όμοιων κλάδων με ικανότητα επεξεργασίας μέχρι 100m³/ημέρα. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος στηρίζεται στη μέθοδο “παρατεταμένου αερισμού ενεργοποιημένης λάσπης”. Προ του συγκροτήματος αυτού υπάρχει εγκατάσταση συλλογής των λιπών και λαδιών
- Συγκρότημα κατεργασίας βιομηχανικών υγρών απόβλητων ονομαζόμενο S1. Στο συγκρότημα αυτό, που είναι ικανότητας κατεργασίας 650m³/h, γίνεται εξουδετέρωση, κροκίδωση και μερική διαύγαση με καθίζηση, στα βιομηχανικά απόβλητα του ΑΗΣ
- Συγκρότημα τελικής επεξεργασίας των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και των νερών της βροχής του ΑΗΣ, που ονομάζεται S3. Στο συγκρότημα αυτό, που είναι ικανότητας 2000m³/h, συγκεντρώνονται όλα τα απόβλητα από τα συστήματα βιολογικού καθαρισμού και S1, τα απόβλητα του συστήματος λιγνίτη καθώς και οι υπερχειλίσσεις των πύργων ψύξης. Στις εγκαταστάσεις του γίνεται πρωτοβάθμια καθίζηση, κροκίδωση, δευτεροβάθμια καθίζηση και τελική ρύθμιση της οξύτητας των επεξεργασμένων απόβλητων (pH) ούτως ώστε τα εξερχόμενα από τον ΑΗΣ νερά να είναι κατάλληλα για όλες τις χρήσεις πλην πόσης

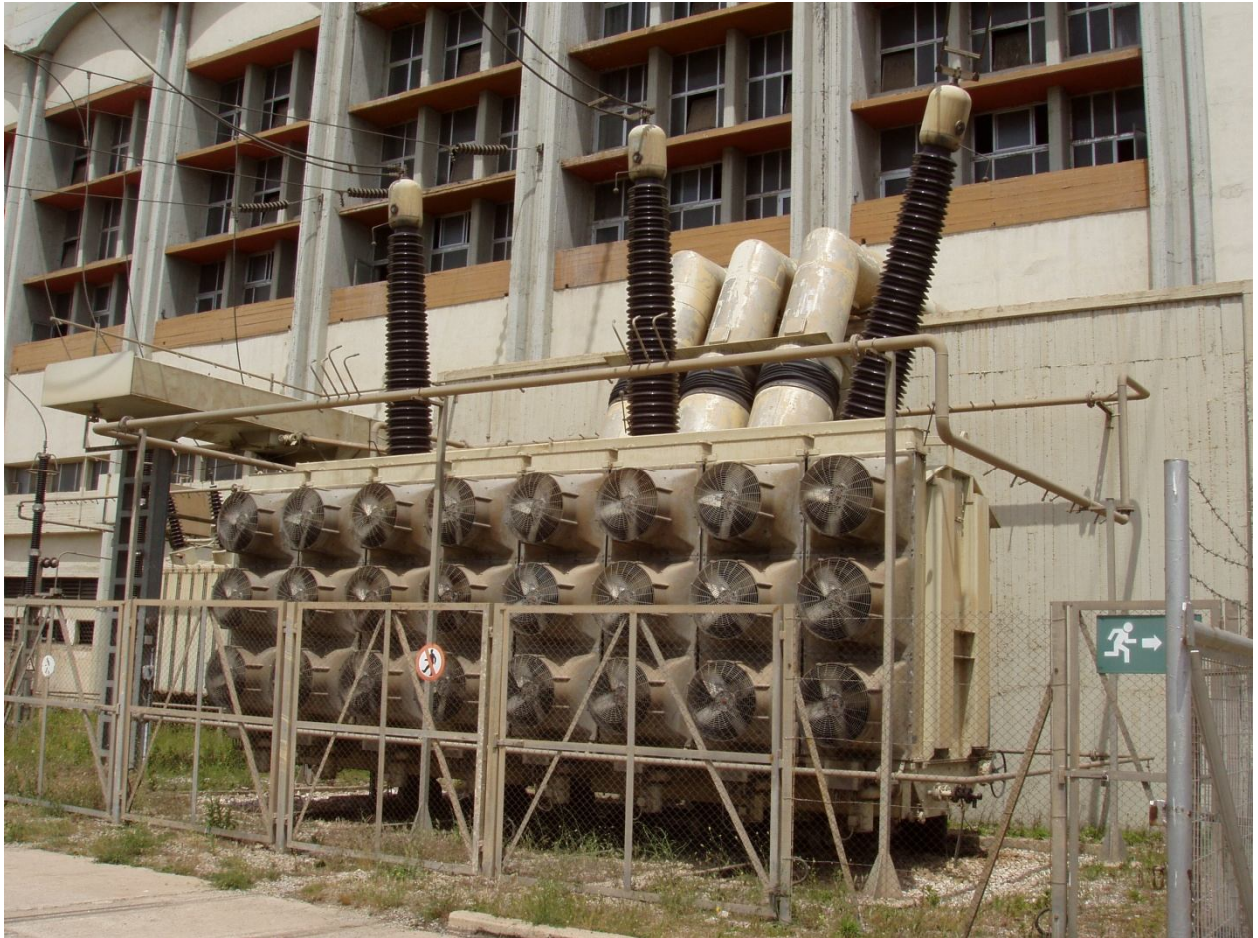
3.4 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Στην έξοδο της γεννητριών κάθε μονάδας είναι εγκατεστημένοι οι κύριοι μετασχηματιστές οι οποίοι ανυψώνουν την τάση από τα 21KV στα 400KV και έχουν ισχύ 360MVA (ένας για κάθε μονάδα). Σε περίπτωση που επιθυμείται η αλλαγή του λόγου μετασχηματισμού με tap changer, ο Μ/Σ πρέπει να μην είναι υπό φορτίο και υπό τάση. Το tap changer αλλάζει τον αριθμό των σπειρών στο πρωτεύον πηνίο του Μ/Σ. Η ψύξη του Μ/Σ γίνεται με λάδι που ψύχεται με ανεμιστήρες και κυκλοφορεί μέσω αντλιών. Η προστασία του γίνεται με ηλεκτρονόμο Buchholz, όπου σε περίπτωση ύπαρξης βραχυκυκλώματος έχουμε ταχεία ροή λαδιού προς το δοχείο διαστολής λαδιού. Η ροή αυτή συνοδεύεται από την εμφάνιση φυσαλίδων αέρα οι οποίες δίνουν την εντολή θέσεως εκτός του Μ/Σ.

Η τροφοδότηση των μηχανημάτων του ΑΗΣ γίνεται μέσω ενός Μ/Σ Block 21KV/6KV (αυτοτροφοδότηση) όπου κι αυτός ο Μ/Σ είναι ένας για κάθε μονάδα. Ο Μ/Σ αποτελείται από δύο δευτερεύοντα, είναι δηλαδή Μ/Σ 21KV/2x6KV και ισχύος 25MVA. Πρόκειται για ελαιόψυκτο Μ/Σ υποβιβασμού τάσης ο οποίος τροφοδοτεί τα βοηθητικά μηχανήματα του ΑΗΣ. Έχει τη δυνατότητα αλλαγής του λόγου μετασχηματισμού με tap changer και ο χειρισμός μπορεί να γίνει και υπό φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί πως η ιδιοκατανάλωση του ΑΗΣ ανέρχεται στο 10% της παραγόμενης ενέργειάς του.

Όταν κάποια από τις μονάδες βρίσκεται εκτός λειτουργίας ή σε περιπτώσεις αδυναμίας αυτοτροφοδότησης του ΑΗΣ, η τροφοδότηση των μηχανημάτων γίνεται από το δίκτυο υψηλής τάσης μέσω Μ/Σ GA με λόγο μετασχηματισμού 150KV/2x6KV. Διαθέτει και αυτός tap changer με δυνατότητα ρύθμισης υπό φορτίο.

Στο σταθμό υπάρχουν μηχανήματα (π.χ. ο στρόβιλος) τα οποία λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ή του μεγάλου βάρους θα καταστραφούν εάν σταματήσει απότομα η λειτουργία τους. Για αυτό το λόγο υπάρχει ο ζυγός εξασφαλισμένων ο οποίος τροφοδοτείται από το Μ/Σ GA και εξασφαλίζει τη λειτουργία αυτών των μηχανημάτων σε περίπτωση που κάποια από τις μονάδες τεθεί εκτός λειτουργίας. Τέλος, υπάρχουν και Μ/Σ 6KV/400V και ισχύος 1500KVA για την τροφοδότηση των μηχανημάτων χαμηλής τάσης.



Σχήμα 31. Μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης στην έξοδο της γεννήτριας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας αναλύσει πλήρως την αρχή λειτουργίας ενός ΑΗΣ και τα επιμέρους τμήματα που τον απαρτίζουν, συμπεραίνουμε ότι ο σταθμός αποτελείται από ένα σύνολο πολύπλοκων κατασκευών, που για τον έλεγχο και το χειρισμό τους απαιτείται χρήση τεχνολογιών αιχμής. Αναλύοντας την διαδικασία έναυσης και σβέσης του ΑΗΣ είναι εύκολο να κατανοηθεί πως απαιτείται μια χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία η οποία αποτελεί και βασική αιτία που οι μονάδες βάσης σε περίπτωση black out δεν μπορούν να ενταχθούν άμεσα στο δίκτυο παρά μόνο μετά το πέρας κάποιων ωρών. Μολονότι οι ΑΗΣ αποτελούν μια παλαιά τεχνολογία, με την εισαγωγή σύγχρονων και καινοτόμων εφαρμογών επιτυγχάνεται η μείωση των εκπομπών ρύπων και τη βελτιστοποίηση του βαθμού απόδοσης τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αρχεία και πληροφορίες από ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου Κοζάνης και Δ.Ε.Η. Α.Ε.
- Πέτρος Ντοκόπουλος, **Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης**, εκδόσεις Ζήτη 1992
- Πέτρος Ντοκόπουλος, **Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Τόμος Ι**, εκδόσεις Παρατηρητής 1986
- Stephen Charman, **Ηλεκτρικές Μηχανές**, εκδόσεις Τζιόλα 2010
- Δρ. Τσιμπλοστεφανάκης Ευάγγελος, **Σημειώσεις Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Τ.Ε.Ι. Πατρών Τμήμα Ηλεκτρολογίας 2005**
- Σημειώσεις Βιομηχανικών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας Τ.Ε.Ι. Καβάλας Τμήμα Βιομηχανικής Πληροφορικής
- Ιστοσελίδα **Metso**, <http://www.metso.com>, 31/1/2013
- Ιστοσελίδα **Δ.Ε.Η. Α.Ε.** (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού), www.dei.gr
- Ιστοσελίδα **Ρ.Α.Ε.** (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας), <http://www.rae.gr>, 27/12/2012
- Ιστοσελίδα **Α.Δ.Μ.Η.Ε.** (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), <http://www.admie.gr>, 18/1/2013
- Ιστοσελίδα **Σ.Η.Ε.Ν.Η.** (Σύνδεσμος Ηλεκτρολόγων Εγκαταστατών Νομού Ηρακλείου), <http://www.shenh.gr>, 15/12/2012
- Βικιπέδια, <http://en.wikipedia.org>
- Ιστοσελίδα **Δ.Ε.Υ.Α.Κ.** (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Κοζάνης), <http://www.deyakozanis.gr>, 2/2/2013
- www.allaboutenergy.gr, 28/12/2012
- Βιβλιοθήκη Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, dspace.lib.ntua.gr, 15/1/2013
- Βιβλιοθήκη Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, invenio.lib.auth.gr, 15/1/2013
- Βάση Δεδομένων Πανεπιστημίου Πατρών, <http://nemertes.lis.upatras.gr>, 23/1/2013