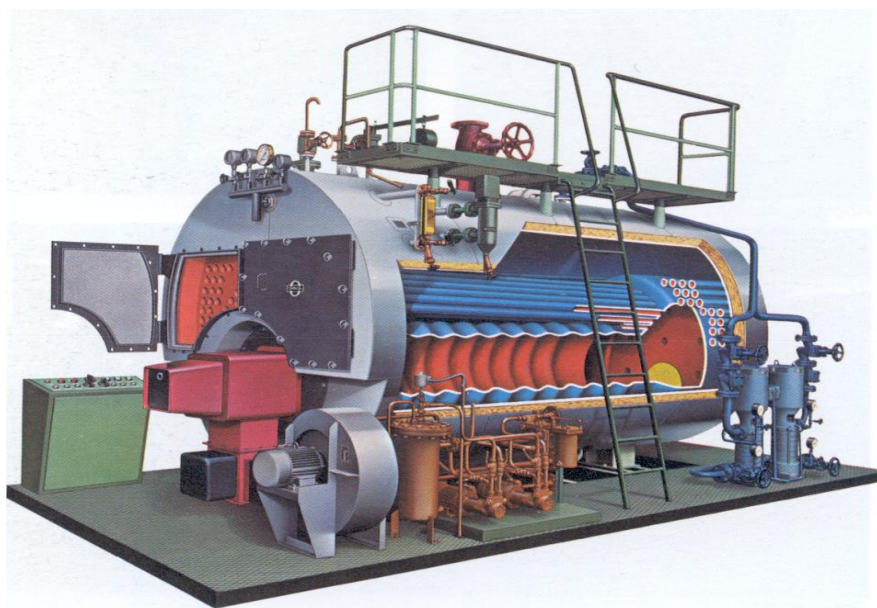


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΜΑΤΟΠΟΛΤΟΥ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΠΟΥΛΟΥ ΓΑΡΥΦΑΛΙΑ (Α.Μ. 5642)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην εγκατάσταση ατμολέβητα, που είναι ένα σύστημα παραγωγής ατμού με καθορισμένα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά. Οι ατμολέβητες είναι από τα πιο χρησιμοποιούμενα συστήματα για την παραγωγή ατμού σε μεγάλες ατμοηλεκτρικές μονάδες γιατί μπορούν να λειτουργήσουν με οποιοδήποτε καύσιμο π.χ. πετρέλαιο, λιγνίτη, φυσικό αέριο κ.τ.λ.

Αρχικά γίνεται λόγος για το πώς ταξινομούνται οι ατμολέβητες. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα κύρια και τα βοηθητικά μέρη αυτών και τέλος, πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για την εγκατάσταση του ατμολέβητα.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., τους φίλους και τους συγγενείς μου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν για να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

Τριανταφυλλοπούλου Γαρυφαλιά
Ιούνιος 2014

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παράφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Τριανταφυλλοπούλου Γαρυφαλιά

(Όνομα επεπαιγμένο)

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη εγκατάστασης ατμολέβητα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του κύκλου του ατμού αποτελεί σήμερα την επικρατέστερη μέθοδο παγκοσμίως. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικό είναι, ότι το 70% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας γίνεται με παραγωγή και χρήση ατμού σε μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με καύση συμβατικών ή πυρηνικών καυσίμων.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται τα μέρη των λεβήτων γενικά καθώς και οι αρχές κατασκευής τους ώστε να πραγματοποιηθεί με ικανοποίηση τον σκοπό του ο λέβητας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ταξινομούνται οι πρώτες κατασκευές των ατμολεβήτων. Γίνεται αναφορά στην περιγραφή και τον τρόπο λειτουργίας αυτών των κατασκευών. Επίσης αναφέρονται οι σύγχρονες κατασκευές των ατμολεβήτων, καθώς και οι διαφορές τους από τις πρώτες κατασκευές.

Στο τρίτο κεφάλαιο οι σημερινές κατασκευές των ατμολεβήτων ταξινομούνται σε κατηγορίες με διάφορα κριτήρια όπως τη γεωμετρική μορφή (διάταξη θερμαινόμενων επιφανειών και αριθμό διαδρομών καυσαερίου), τον τρόπο κυκλοφορίας του εργαζόμενου μέσου, την διαμόρφωση του συστήματος καύσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα κύρια τμήματα των ατμολεβήτων. Αναφέρεται ποιος είναι ο σκοπός αυτών των τμημάτων, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα βοηθητικά τμήματα του ατμολέβητα, τα οποία είναι απαραίτητα για την ασφαλή και οικονομική λειτουργία του ατμολέβητα και την επιτέλεση του που είναι ο μετασχηματισμός του τροφοδοτικού νερού σε ατμό ορισμένης ποιότητας.

Στο έκτο κεφάλαιο αναπτύσσεται πως καθαρίζεται ένας ατμολέβητας. Γίνεται αναφορά στους τρόπους καθαρισμούς ενός ατμολέβητα, αλλά και πως αυτοί εκτελούνται.

Το έβδομο κεφάλαιο ασχολείται με τις μεθόδους υπολογισμού εγκατάστασης ατμολέβητα σε βιομηχανία παραγωγής τοματοπολτού. Συγκεκριμένα γίνονται οι

αριθμητικοί υπολογισμοί των εσωτερικών και εξωτερικών στοιχείων ενός ατμολέβητα τύπου φλογοσωλήνα με αεριαλούς, κορεσμένου ατμού.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι ότι για να πραγματοποιηθεί μια τέτοια μελέτη απαιτούνται πολλές γνώσεις θερμοδυναμικής. Επίσης, η μελέτη ενός ατμολέβητα απαιτεί πολλές επαναλήψεις και βελτιώσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥΣ	10
1.1 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ.....	10
1.2 ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ.....	11
2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ	13
2.1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	13
2.1.1 Απλοί κυλινδρικοί ατμολέβητες.....	13
2.1.2 Ατμολέβητες με φλογοσωλήνα	14
2.1.3 Ατμολέβητες με φλογοσωλήνα και αεριαυλούς.....	15
2.2 ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΟΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ	17
2.2.1 Γενικά.....	17
2.2.2 Υδραυλωτοί ατμολέβητες με υδροθάλαμο τοποθετημένο κατά μήκος.....	18
2.2.3 Υδραυλωτοί ατμολέβητες με εγκάρσιο υδροθάλαμο.....	19
2.2.4. Ατμολέβητες με ορθούς υδραυλούς.....	20
2.3 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ. ΓΕΝΙΚΑ.....	20
3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ	24
3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΡΦΗ.....	24
3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΟΥ.	26
3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ.	29

4. ΚΥΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ.....	31
4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	31
4.1.1 Ατμολέβητες φυσικής κυκλοφορίας.....	31
4.1.2 Ατμολέβητες τεχνητής κυκλοφορίας	33
4.1.3 Ατμολέβητες εξαναγκασμένης ροής.....	35
4.1.4 Κατασκευαστικά στοιχεία.....	36
4.2 ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ.....	37
4.2.1 Γενικά.....	37
4.2.2 Συγκρότηση των υπερθερμαντήρων.	38
4.3 ΟΙΚΟΝΟΜΗΤΗΡΑΣ.....	39
4.4 ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑΣ ΑΤΜΟΥ	41
5. ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ	43
5.1 ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ.....	43
5.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΤΙΔΙΩΝ – ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	45
5.3 ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ	46
5.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	47
6.ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΛΕΒΗΤΑ.....	49
6.1 Ο ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ	49
6.1.1 Η εκτέλεση του εσωτερικού καθαρισμού.....	49
6.1.2 Ο χημικός καθαρισμός των λεβήτων.	50
6.2 Ο ΕΚΚΑΠΝΙΣΜΟΣ	51
6.2.1 Η εκτέλεση του εκκαπνισμού.	51
7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευή των λεβήτων είναι ένα ισχυρά παραδοσιακό πεδίο της τεχνικής, όπου σημαντικές αλλαγές γίνονται πολύ σπάνια σε μεγάλες περιόδους και κυρίως όταν αλλάζει η πηγή ενέργειας, όπως στη δεκαετία του '50 όταν το πετρέλαιο εκτόπισε προοδευτικά τα στερεά καύσιμα.

Ο ατμολέβητας είναι ένα σύστημα παραγωγής ατμού που μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ένας εναλλάκτης θερμότητας, μεταξύ ενός ρεύματος θερμού καυσαερίου και ενός ρεύματος νερού, που όταν διαρρέει τον ατμοπαραγωγό, μετασχηματίζεται σταδιακά σε κορεσμένο και υπέρθερμο ατμό, παίρνοντας θερμότητα από το καυσαέριο. Μέσα στον ατμοπαραγωγό, με την καύση του καυσίμου, δημιουργείται το ρεύμα του θερμού καυσαερίου που αποτελεί τον φορέα της συναλλασσόμενης θερμότητας. Κατά την διάρκεια της καύσης η χημική ενέργεια του θερμού καυσαερίου μετατρέπεται σε θερμότητα. Το εργαζόμενο μέσο (ατμός ή νερό) και ο φορέας της θερμότητας (καυσαέριο) κυκλοφορούν σε σύστημα αγωγών, όπου η θερμότητα από το καυσαέριο στο εργαζόμενο μέσο μεταδίδεται μέσα από τα τοιχώματα αυτών των αγωγών. Η επιφάνεια των τοιχωμάτων των αγωγών νερού ή ατμού που έρχεται σε επαφή με το καυσαέριο, ονομάζεται θερμαινόμενη επιφάνεια ή επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του ατμοπαραγωγού.

Το σύστημα των αγωγών σε μεγάλους ατμοπαραγωγούς μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο, αποτελείται από πολλούς παράλληλους σωλήνες μικρής διαμέτρου. Η δημιουργία του καυσαερίου και η καύση του καυσίμου γίνεται σε έναν ειδικό χώρο του ατμοπαραγωγού που ονομάζεται **εστία** ή **θάλαμος καύσης**. Το εσωτερικό αυτού του θαλάμου ντύνεται από μια σειρά σωλήνων, μέσα στους οποίους κινείται το νερό που πρόκειται να ατμοποιηθεί. Επειδή το καυσαέριο κατά τον σχηματισμό του έχει μεγάλη θερμοκρασία και λόγω της ακτινοβολίας, στους σωλήνες που ντύνουν τον θάλαμο καύσης με ακτινοβολία, μεταδίδεται ένα μεγάλο μέρος της

θερμότητας δηλαδή από άποψη συναλλαγής θερμότητας οι επιφάνειες αυτές των σωλήνων είναι «επιφάνειες ακτινοβολίας».

Η υπόλοιπη επιφάνεια του ατμοπαραγωγού που αποτελείται από δέσμες σωλήνων, τοποθετείται μετά το θάλαμο καύσης μέσα σε διαμορφωμένο οχετό, όπου μέσα σ' αυτόν κυκλοφορεί το καυσαέριο μετά την έξοδό του από την εστία.

Ανάλογα με τον προορισμό τους οι επιφάνειες του ατμοπαραγωγού χωρίζονται σε προθερμαντήρες αέρα, προθερμαντήρες νερού (ECO) και επιφάνειες υπερθέρμανσης, ατμοποίησης και αναθέρμανσης του ατμού.

Το μέγεθος του ατμοπαραγωγού εξαρτάται από την ποσότητα του εργαζόμενου μέσου που τον διαρρέει και από τις απαιτούμενες για την συναλλαγή της θερμότητας επιφάνειες.

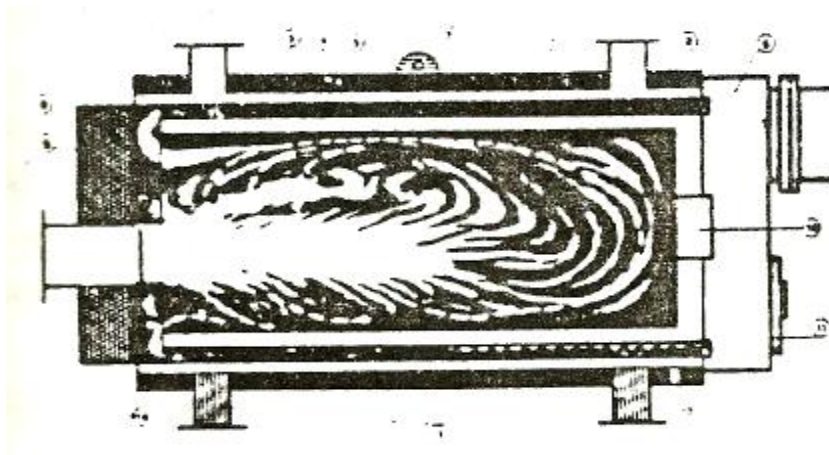
Οι βασικές λειτουργίες στο λέβητα είναι η καύση του καυσίμου, όπου η χημική του ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα με μεγάλη θερμοκρασία, η μετάδοση της εκλυόμενης θερμότητας προς το νερό και η μετατροπή του νερού σε ατμό (ατμοποίηση).

Ένας λέβητας για να ικανοποιήσει τις σημερινές ανάγκες πρέπει να καλύπτει τις παρακάτω απαιτήσεις:

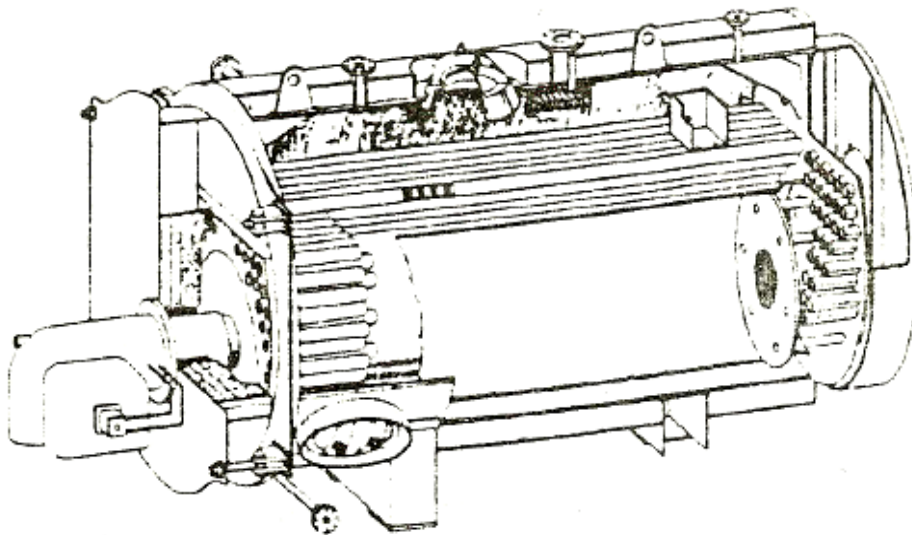
- Η μορφή του θαλάμου καύσεως πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το καύσιμο να έχει αρκετό χώρο για να καεί τελείως, δηλαδή πρέπει να είναι μεγάλη η απόσταση καύσης. Επίσης η μορφή του θαλάμου καύσης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ταιριάζει με τη φλόγα. Προφανές είναι ότι ο κυλινδρικός θάλαμος καύσεως είναι ο ιδανικός για την κυλινδρική φλόγα πετρελαίου.
- Η καύση πρέπει να γίνεται με το μεγαλύτερο ποσοστό CO₂, δηλαδή τη μικρότερη περίσσεια αέρα και αυτό βέβαια χωρίς άκαυστα αέρια, καπνά ή κατάλοιπα άκαυστου πετρελαίου.
- Κατά την εκκίνηση που αναπτύσσεται και η μεγαλύτερη αντίθλιψη στο θάλαμο καύσης η οξειδωση του SO₂→SO₃ πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλή και πολύ γρήγορα πρέπει να μειώνεται στην κανονική αντίθλιψη λειτουργίας. Διαφορετικά δημιουργείται πολλή αιθάλη που λερώνει και το λέβητα και τον καυστήρα και έχει ως αποτέλεσμα μια συνεχή κακή καύση.

Άρα ένας λέβητας με απαιτήσεις θα πρέπει να έχει:

- α) πιεστικό θάλαμο καύσης,
- β) επιστρεφόμενη φλόγα μέσα στον θάλαμο καύσης (εικ. 1.1),
- γ) συμμετρικά διατεταγμένους αεριαυλούς γύρω από τον θάλαμο καύσης (εικ. 1.2),
- δ) να διαθέτει πόρτα για επιθεώρηση.



Εικόνα 1.1: Λέβητας με επιστροφόμενη φλόγα



Εικόνα 1.2: Λέβητας ατμού υψηλής πίεσης

1.ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥΣ

1.1 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ

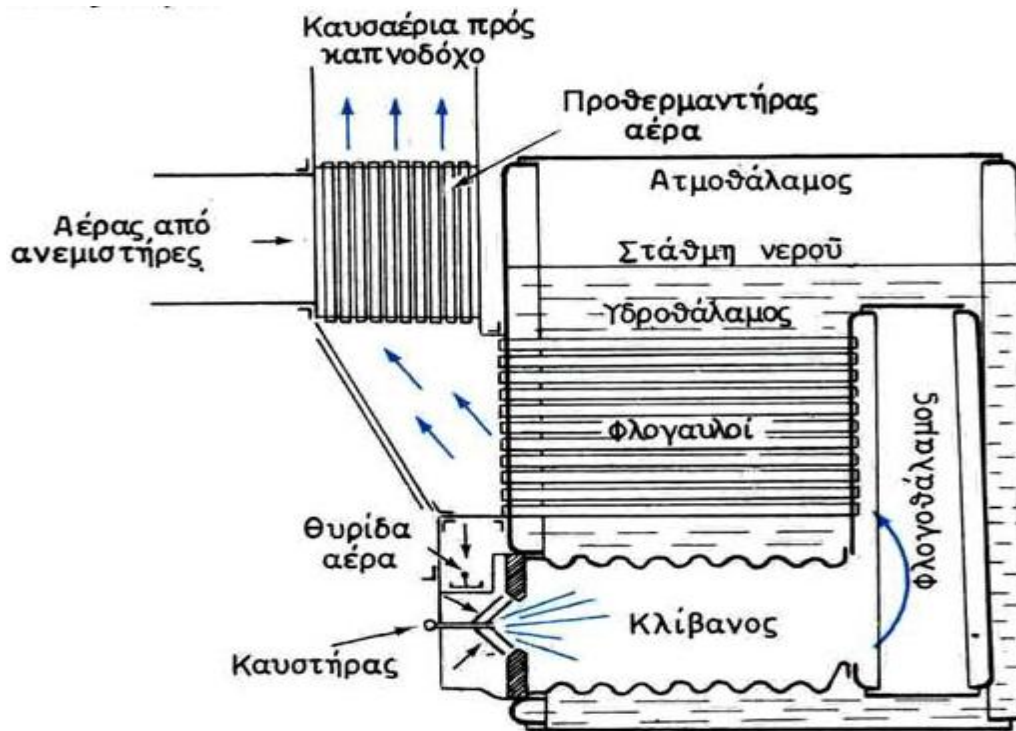
Σχεδόν όλοι οι λέβητες αποτελούνται από τα βασικά μέρη τους τα οποία είναι ο υδροθάλαμος, ο θερμαντήρας και ο ατμοθάλαμος.

- **Υδροθάλαμος** είναι ο χώρος του λέβητα που καταλαμβάνει το νερό.
- **Θερμαντήρας** είναι ο χώρος που γίνεται η καύση και μέσα από αυτόν οι φλόγες και τα καυσαέρια κατευθύνονται προς την καπνοδόχο.
- **Ατμοθάλαμος** είναι ο χώρος που καταλαμβάνει ο ατμός.

Στους λέβητες, εκτός από τα παραπάνω, διακρίνονται και τα εξής μέρη:

- Η **εστία** ή **θάλαμος καύσης**, είναι ο χώρος όπου γίνεται η κυρίως καύση με την εισαγωγή καυσίμου και καυσιγόνου αέρα.
- Ο **φλογοθάλαμος** είναι ο χώρος όπου αποπερατώνεται η καύση των αερίων.
- Οι **αυλοί** είναι σωλήνες με μεγάλο μήκος και μικρή διάμετρο. Μέσα από τους αυλούς διέρχονται φλόγες και καυσαέρια (**φλογαυλοί**), οπότε αυτοί περιβάλλονται από το νερό, ή το προς ατμοποίηση νερό (**υδραυλοί**), οπότε περιβάλλονται από τις φλόγες και τα καυσαέρια. Οι αυλοί έχουν σκοπό μέσα σ' έναν ορισμένο χώρο να δημιουργήσουν μεγάλη επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας στο νερό.
- Ο **καπνοθάλαμος** είναι αυτός που συνδέει τον θερμαντήρα με την καπνοδόχο.
- Η **καπνοδόχος**, που οδηγεί τα αέρια της καύσης προς την ατμόσφαιρα.

Στην εικόνα 1.3 φαίνεται η γενική διάταξη κυλινδρικού πετρελαιολέβητα στον οποίο διακρίνονται τα κυριότερα μέρη του. Αυτός είναι εφοδιασμένος και με προθερμαντήρα αέρα, ο οποίος καταθλίβεται με πίεση από τους ανεμιστήρες προς τους κώνους αέρα.



Εικόνα 1.3: Η γενική διάταξη κυλινδρικού πετρελαιολέβητα.

1.2 ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ

Για να πραγματοποιεί με ικανοποίηση τον σκοπό του ο λέβητας θα πρέπει να παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα ή αλλιώς να παρουσιάζει κάποιες προϋποθέσεις, οι οποίες είναι:

- **Η μεγάλη μετάδοση της θερμότητας**

Αυτή γίνεται με την επένδυση της εστίας με αυλούς, με τη χρήση ευθερμαγωγών υλικών από μαλακό χάλυβα και ειδικά κράματά του για την κατασκευή της θερμαινόμενης επιφάνειας, με την καλή διάταξη και τον καλό σχεδιασμό της θερμαινόμενης επιφάνειας σε σχέση προς την πορεία των καυσαερίων ώστε αυτά να εγκαταλείπουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητάς τους μέσα στο νερό.

Τοποθετείται δηλαδή η θερμαινόμενη επιφάνεια έτσι ώστε τα καυσαέρια κατά την πορεία τους προς την καπνοδόχο να την προσβάλλουν σχεδόν κάθετα. Για το λόγο αυτό τοποθετούνται κατάλληλα οδηγητικά διαφράγματα που ρυθμίζουν την πορεία των καυσαερίων μέσα στο θερμαντήρα. Επίσης, η μεγάλη μετάδοση της θερμότητας γίνεται με την προσπάθεια που καταβάλλεται, όταν ο λέβητας λειτουργεί, να διατηρείται η θερμαινόμενη επιφάνεια καθαρή από την πλευρά της καύσεως (χρήση εκκαπνιστών) και από την πλευρά του νερού (χημικά επεξεργασία του νερού-εξαγωγές), γιατί η αιθάλη και τα άλατα αποτελούν δυσθερμαγωγές ουσίες που εμποδίζουν τη διάβαση της θερμότητας στο νερό.

- **Η μεγάλη θερμαινόμενη επιφάνεια.**

Στο μικρότερο δυνατό χώρο και βάρος του λέβητα. Αυτό γίνεται με τη χρησιμοποίηση των αυλών μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου και με την κατάταξη της όλης επιφάνειας σε έναν ορισμένο χώρο.

- **Οι μικρές απώλειες από ακτινοβολία του λέβητα προς το περιβάλλον.**

Για τον λόγο αυτό ο λέβητας επενδύεται με θερμομονωτικές ουσίες, όπως π.χ. μίγμα από γύψο-αμίαντο, και τα τοιχώματα της εστίας κατασκευάζονται από μονωτικούς πυρόπλινθους (πυρότουβλα) ή αυλούς που αποτελούν τους υδρότοιχους. Αυτοί εκτός από το ότι απορροφούν τη θερμότητα με ακτινοβολία εμποδίζουν την διαφυγή της προς το περιβάλλον. Επικαλύπτονται γι' αυτό με ειδικά πυρίμαχα υλικά όπως είναι το ορυκτό χρώμιο και άλλα ανάλογα υλικά.

- **Η έντονη κυκλοφορία του νερού.**

Αυτή διευκολύνει την αύξηση της μεταδόσεως της θερμότητας και την επιτάχυνση της ατμοποίησης. Πραγματοποιείται με την κατάλληλη τοποθέτηση των αυλών, ώστε να πλησιάζουν την κατακόρυφο και να αυξάνεται έτσι η φυσική κυκλοφορία του νερού. Σε νεότερους λέβητες εφαρμόζεται η τεχνητή κυκλοφορία με ιδιαίτερη αντλία που προκαλεί επιτάχυνση της ροής του νερού και ταχύτερη την ατμοποίηση.

- **Η ασφάλεια του λέβητα.**

Ο λέβητας κατασκευάζεται από υλικά άριστης ποιότητας, τα οποία αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες, στην πίεση και στις διαβρώσεις, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για το προσωπικό που τον χειρίζεται, αλλά και για την εγκατάσταση γενικά. Υπολογίζεται και σχεδιάζεται σύμφωνα με κανόνες των διαφόρων Νηογνώμων, οι οποίοι προδιαγράφουν τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής. Μετά την κατασκευή του υποβάλλεται πάντα στις αναγκαίες αυστηρές δοκιμές ασφάλειας και ικανοποιητικής λειτουργίας.

2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

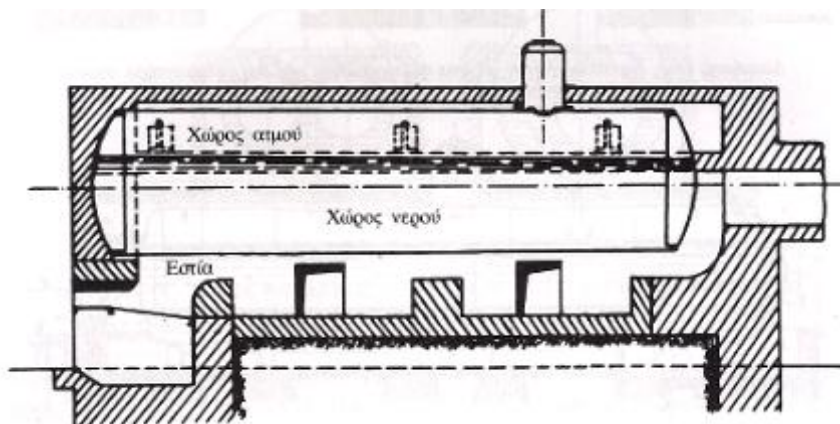
2.1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

2.1.1 Απλοί κυλινδρικοί ατμολέβητες

Το εργαζόμενο μέσο (νερό, ατμός) στις πρώτες κατασκευές των ατμολεβήτων βρισκόταν μέσα σε ένα μεγάλο κυλινδρικό δοχείο που ονομάζεται τύμπανο, ενώ το καυσαέριο κυκλοφορούσε στο εξωτερικό αυτού. Η εξωτερική επιφάνεια του κυλινδρικού τυμπάνου αποτελούσε τη θερμαινόμενη επιφάνεια του ατμολέβητα (εικόνα 2.4).

Όμως, με αυτόν τον τρόπο ήταν μικρή η θερμική εκμετάλλευση του καυσίμου με αποτέλεσμα ο ατμολέβητας να έχει μικρό βαθμό απόδοσης. Αυτές οι κατασκευές είχαν ακόμα ελάχιστη θερμαινόμενη επιφάνεια στη μονάδα όγκου τους και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες και ακριβές εγκαταστάσεις για σχετικά μικρές παροχές ατμού. Επίσης, επειδή το είδος της κατασκευής έθετε περιορισμούς, ο παραγόμενος ατμός είχε μικρή πίεση και θερμοκρασία.

Για όλους τους παραπάνω λόγους η κατασκευή αυτή αντικαταστάθηκε με πιο βελτιωμένους ατμολέβητες που αναφέρονται παρακάτω.

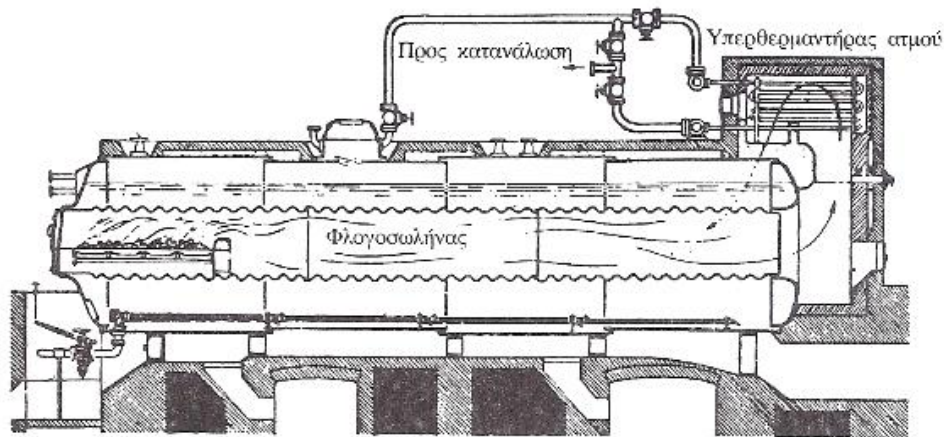


Εικόνα 2.4: Διάταξη απλού κυλινδρικού ατμολέβητα.

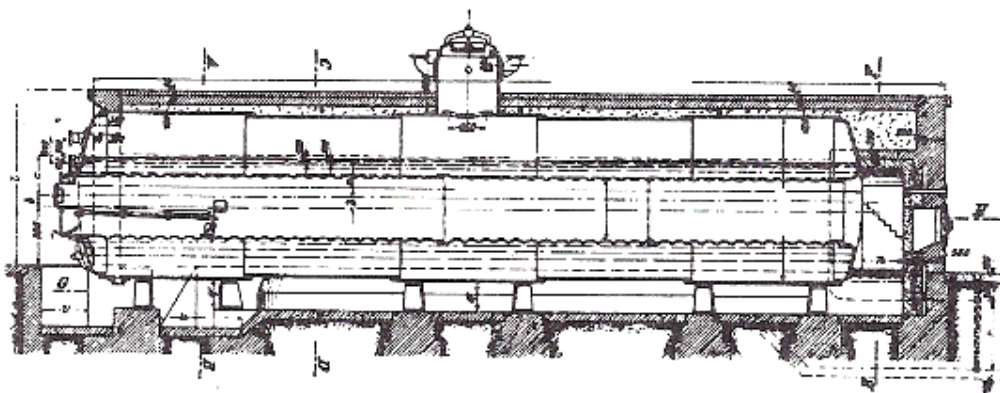
2.1.2 Ατμολέβητες με φλογοσωλήνα

Η προσπάθεια κατασκευής ατμολεβήτων με μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια οδήγησε στην κατασκευή ατμολεβήτων με φλογοσωλήνα. Σε αυτούς υπάρχει ένα μεγάλο κυλινδρικό τύμπανο (υδροθάλαμος), όπως υπήρχε και στους κυλινδρικούς. Καινοτομία τους υπήρξε η τοποθέτηση ενός σωλήνα μεγάλης διαμέτρου και με κυματοειδή επιφάνεια, μέσα στο τύμπανο και κατά μήκος του (εικόνα 2.5). Επειδή μέσα σ' αυτόν τον σωλήνα γινόταν η καύση του καυσίμου και η πρώτη διαδρομή του καυσαερίου ο σωλήνας αυτός ονομάστηκε φλογοσωλήνας. Μέσα από την επιφάνεια του φλογοσωλήνα γινόταν η πρώτη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ φλόγας-καυσαερίου και νερού. Λόγω της κυματοειδής μορφής της επιφάνειας του σωλήνα ήταν ακίνδυνη η παραλαβή των διαστολών του σωλήνα, εξασφαλιζόταν συναλλασσόμενη θερμική ισχύ λόγω του μεγαλύτερου εμβαδού της και βελτιώνονταν οι συνθήκες μετάδοσης της θερμότητας που επέφερε λόγω της δημιουργίας τυρβώδους ροής του καυσαερίου. Επίσης, την υποτυπώδη κυκλοφορία του νερού εξασφάλιζε η τοποθέτηση του φλογοσωλήνα έκκεντρα.

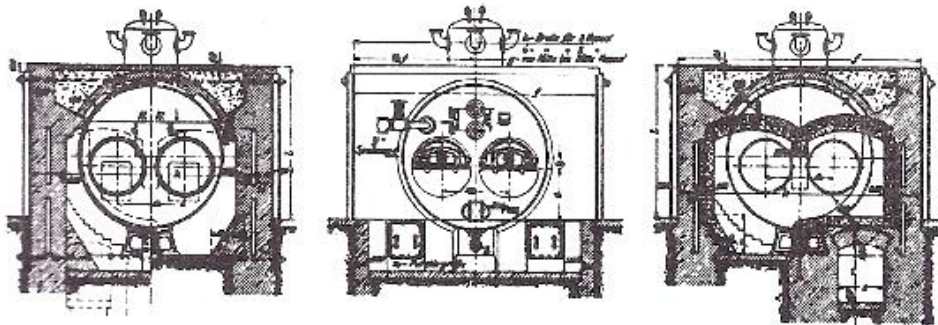
Μετά από την έξοδο από τον φλογοσωλήνα το καυσαέριο περιέτρεχε την εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου, συνεχίζοντας την συναλλαγή θερμότητας με το νερό που βρισκόταν στο τύμπανο. Ακόμα, σε μερικές κατασκευές το καυσαέριο μπορούσε να περάσει μέσα από μια πρόσθετη σωληνωτή επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, που αποτελούσε τον υπερθερμαντήρα του ατμού. Με αυτόν τον τρόπο ήταν πιο αποτελεσματική η εκμετάλλευση θερμότητας του καυσαερίου, άρα υπήρχε αύξηση συγκέντρωσης ισχύος και μεγάλη αύξηση του βαθμού απόδοσης του ατμολέβητα.



Διαμήκης τομή ατμολέβητα με ένα φλογοσωλήνα και υπερθερμαντήρα ατμού.



Διαμήκης και εγκάρσιες τομές ατμολέβητα με δύο φλογοσωλήνες.



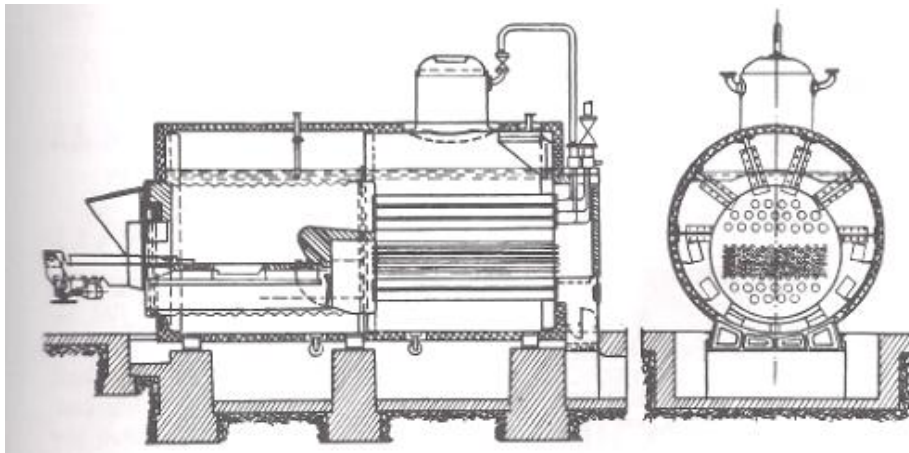
Εικόνα 2.5: Διατάξεις ατμολεβήτων με φλογοσωλήνα.

2.1.3 Ατμολέβητες με φλογοσωλήνα και αεριαλούς

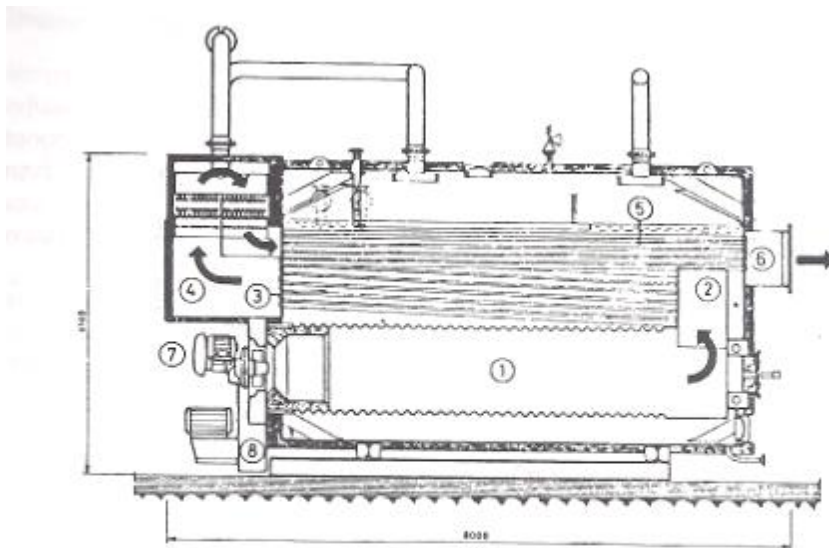
Για την βελτίωση της συγκέντρωσης ισχύος κατασκευάστηκαν οι ατμολέβητες με φλογοσωλήνα και αεριαλούς, οι οποίοι αποτελούν εξέλιξη των ατμολεβήτων με φλογοσωλήνα. Αποτελούνται από τον φλογοσωλήνα που είναι η εστία καύσης και μέσα στον οποίο γίνεται η πρώτη διαδρομή του καυσαερίου. Όμως, παράλληλα προς τον φλογοσωλήνα, φέρουν μια δέσμη αεριαλών (κατά μήκος του τυμπάνου) μέσα

από τους οποίους το καυσαέριο ρέει σε δεύτερη ή και τρίτη διαδρομή, αυξάνοντας έτσι την συναλασσόμενη ισχύ.

Παρόμοιοι μ' αυτούς τους ατμολέβητες είναι οι ατμολέβητες τύπου Holland, όπου σ' αυτούς ο φλογοσωλήνας εκτείνεται σε μέρος μόνο του μήκους του τυμπάνου και το υπόλοιπο μέρος αποτελείται από δέσμη αεριαυλών, στην προέκταση του φλογοσωλήνα. Η καύση και η πρώτη συναλλαγή θερμότητας γίνεται μέσα στον φλογοσωλήνα, με το περιεχόμενο του τυμπάνου. Στη συνέχεια το καυσαέριο περνά στους αεριαυλούς, όπου και συμπληρώνει τη συναλλαγή θερμότητας με το νερό του ατμολέβητα. Στις εικόνες 2.6 και 2.7 απεικονίζονται διατάξεις ατμολέβητα με φλογοσωλήνα και αεριαυλούς και ατμολέβητα τύπου Holland, με υπερθερμαντήρα ατμού.



Εικόνα 2.6: Διάταξη ατμολέβητα τύπου Holland και υπερθερμαντήρα ατμού.



1. Φλογοσωλήνας, 2. Οπίσθιος θάλαμος αλλαγής κατεύθυνσης καυσαερίων, 3. Αεριαυλοί (2. διαδρομή), 4. Εμπρόσθιος θάλαμος αλλαγής κατεύθυνσης καυσαερίων με υπερθερμαντήρα ατμού, 5. Αεριαυλοί (3. διαδρομή), 6. Έξοδος καυσαερίων, 7. Καυστήρας, 8. Φυσητήρας αέρα καύσης.

Εικόνα 2.7: Διάταξη ατμολέβητα με αεριαυλούς.

Ακόμα, συναφείς κατασκευές είναι οι ατμολέβητες με αεριαυλούς, όπου σ' αυτούς δεν υπάρχει φλογοσωλήνας αλλά μια δέσμη αεριαυλών κατά μήκος του τυμπάνου. Η καύση του καυσίμου γίνεται σε εστία ξεχωριστή που συνήθως τοποθετείται κάτω από το τύμπανο. Η πρώτη διαδρομή του καυσαερίου γίνεται εξωτερικά του τυμπάνου και, έπειτα, το καυσαέριο περνά μέσα στους αεριαυλούς σε δεύτερη (ή και τρίτη) διαδρομή.

2.2 ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΟΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ

2.2.1 Γενικά

Στις πιο βελτιωμένες κατασκευές η επιφάνεια συναλλαγής αποτελείται από σωλήνες μεγάλης, σχετικά, διαμέτρου (φλογοσωλήνες ή αεριαυλούς) στους οποίους κινείται το καυσαέριο και είναι βυθισμένοι μέσα στη μάζα του νερού. Ενώ οι ατμολέβητες που αναφέρθηκαν παραπάνω χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο υδροθάλαμο, όπου την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας μεταξύ καυσαερίου και νερού την αποτελεί ένα μέρος της εξωτερικής επιφάνειας του υδροθαλάμου.

Όμως, αυτές οι κατασκευές αντικαταστάθηκαν με κατασκευές βασισμένες σε τελείως διαφορετικές αρχές για τους παρακάτω λόγους:

- Χαρακτηρίζονται από μικρή θερμαινόμενη επιφάνεια ανά μονάδα όγκου.
- Είναι ακατάλληλοι για την επίτευξη μεγάλων τιμών ατμοπαραγωγής λόγω του υπερβολικού κόστους.
- Η πίεση του παραγόμενου ατμού είναι πολύ μικρή.
- Απαιτούνται πολύ μεγάλα πάχη ελάσματος τυμπάνου και φλογοσωλήνα για την αύξηση της πίεσης, άρα προκύπτει πολύ δαπανηρή κατασκευή.
- Για μεγάλες θερμικές φορτίσεις και θερμικές καταπονήσεις, ο τρόπος συγκρότησή τους κάνει ακατάλληλους τους ατμολέβητες.

Η επιφάνεια συναλλαγής στους νέους ατμολέβητες αποτελείται από πλήθος σωλήνων με μικρή διάμετρο. Μέσα στους σωλήνες κυκλοφορεί το ατμοποιημένο νερό ή ο υπερθερμαινόμενος ατμός, ενώ εξωτερικά τους περιρρέει το καυσαέριο. Για το λόγο αυτό οι ατμολέβητες αυτοί ονομάστηκαν **υδραυλωτοί**. Έτσι προέκυψαν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

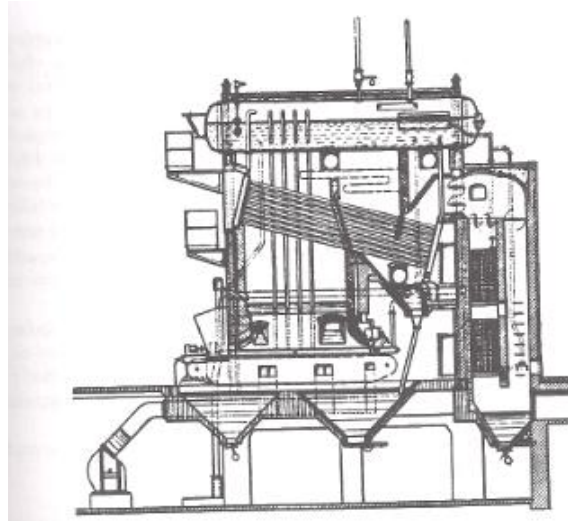
- Μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου περιεχομένου νερού, με συνέπεια μεγάλη παροχή ατμού για μικρό σχετικά όγκο εγκατάστασης.
- Επίτευξη μικρών χρόνων ατμοποίησης για τον παραπάνω λόγο.
- Ελαστικότητα κατασκευής και δυνατότητα μεγάλων θερμικών φορτίσεων, χωρίς κινδύνους.

- Λόγω μεγαλύτερης εκμετάλλευσης της θερμότητας του καυσαερίου και λόγω της παραγωγής ατμού μεγάλης θερμοκρασίας και πίεσης έχουμε βελτίωση του βαθμού απόδοσης του ατμολέβητα.
- Λόγω της μικρής τους διαμέτρου υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ατμού μεγάλης πίεσης με σχετικά μικρά απαιτούμενα πάχη σωλήνων.
- Το υλικό από το οποίο αποτελείται κυρίως ο ατμολέβητας είναι φθηνό. Επίσης, το κόστος της συγκρότησής του είναι χαμηλό, σχετικά. Έτσι, έχουν μικρό κόστος κατασκευής.

Οι υδραυλωτοί ατμολέβητες εξακολούθησαν να έχουν τύμπανο (υδροθάλαμο), αλλά αυτό δεν είναι πια μέρος της θερμαινόμενης επιφάνειας και ο ρόλος του περιορίστηκε σε αποθήκη νερού και χώρο διαχωρισμού του ατμού από το νερό. Ως επακόλουθο μειώθηκαν και οι διαστάσεις του.

2.2.2. Υδραυλωτοί ατμολέβητες με υδροθάλαμο τοποθετημένο κατά μήκος.

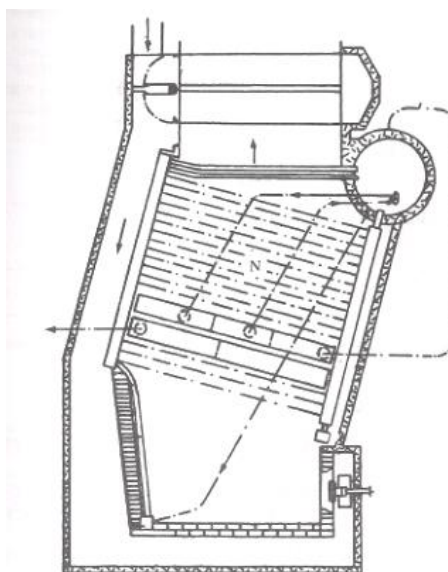
Μετά την τοποθέτηση του στο σχετικό προθερμαντήρα, το τροφοδοτικό νερό, διοχετεύεται στον υδροθάλαμο που είναι τοποθετημένος κατά μήκος στο πάνω μέρος του ατμολέβητα και προστατεύεται από την επίδραση του καυσαερίου. Από τον υδροθάλαμο διαμοιράζεται στα στοιχεία (καθόδου) μέσω του αγωγού καθόδου και από εκεί στους υδραυλούς που αποτελούν την επιφάνεια ατμοποίησης. Μέσα στους υδραυλούς θερμαίνεται έντονα από το καυσαέριο που τους περιρρέει και μετασχηματίζεται σε μείγμα πλούσιο σε υδρατμό. Το μείγμα οδεύει κατά μήκος των υδραυλών, συγκεντρώνεται στα στοιχεία ανόδου και από εκεί μπαίνει στον υδροθάλαμο με τη βοήθεια του αγωγού ανόδου. Μέσα στον υδροθάλαμο διαχωρίζεται από το μείγμα ο ατμός που στη συνέχεια διοχετεύεται στον υπερθερμαντήρα, για τη σχετική υπερθέρμανση, ενώ το νερό του μείγματος παραμένει στον υδροθάλαμο και ξανακυκλοφορεί μέσα από τους υδραυλούς της επιφάνειας ατμοποίησης. Στην εικόνα 2.8 απεικονίζεται μια τυπική διάταξη του ατμολέβητα που περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 2.8: Διάταξη ατμολέβητα με στοιχεία και υδροθάλαμο τοποθετημένα κατά μήκος.

2.2.3. Υδραυλωτοί ατμολέβητες με εγκάρσιο υδροθάλαμο.

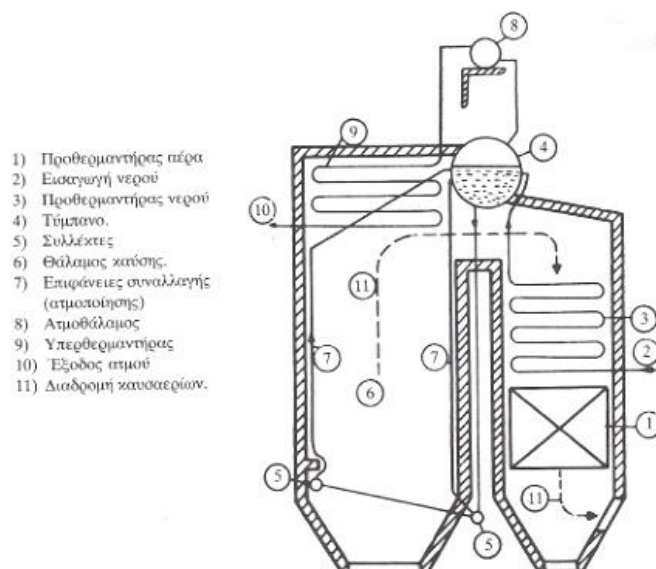
Οι ατμολέβητες αυτοί αποτελούν παραλλαγή των ατμολεβήτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι ο υδροθάλαμος είναι τοποθετημένος εγκάρσια ως προς την δέσμη των υδραυλών. Η συγκρότησή του κατά τον τρόπο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ελαστικότητας της κατασκευής και της αντοχής της ως προς την θερμική φόρτιση. Αυτό επιτρέπει την επίτευξη μεγαλύτερων τιμών ειδικής ατμοποίησης. Στην εικόνα 2.9 φαίνεται η διάταξη υδραυλωτού ατμολέβητα με εγκάρσιο υδροθάλαμο.



Εικόνα 2.9: Διάταξη υδραυλωτού ατμολέβητα με εγκάρσιο υδροθάλαμο.

2.2.4. Ατμολέβητες με ορθούς υδραυλούς.

Αυτοί αποτελούνται από κυλινδρικά τύμπανα , υδραυλούς και συλλέκτες. Οι τελευταίοι είναι χαλύβδινα δοχεία κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής, στα οποία συγκεντρώνεται το περιεχόμενο ορισμένων υδραυλών και στη συνέχεια διαμοιράζεται σε άλλη ομάδα υδραυλών, σύμφωνα με το διάγραμμα κυκλοφορίας που έχει επιλεγεί. Μετά την προθέρμανσή του, το τροφοδοτικό νερό, οδηγείται στον κύριο υδροθάλαμο, απ' όπου με σωλήνα ή σωλήνες μεγάλης σχετικά διατομής, με μέτρια ή χωρίς θερμική φόρτιση, κατεβαίνει προς τους συλλέκτες. Μετά διαμοιράζεται στους υδραυλούς ατμοποίησης, οι οποίοι μετά την θέρμανση, το οδηγούν ως μείγμα πλούσιο σε υδρατμό, πίσω στον κύριο υδροθάλαμο. Κάθε υδραυλός, επικοινωνεί κατευθείαν με το εσωτερικό του αντίστοιχου συλλέκτη και υδροθαλάμου, πάνω στους οποίους είναι στεγανά στερεωμένος. Η αρχή της διάταξης των ατμολεβήτων αυτού του τύπου φαίνεται στην εικόνα 2.10.



Εικόνα 2.10: Διάταξη ατμολεβήτα με ορθούς υδραυλούς.

2.3 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ. ΓΕΝΙΚΑ.

Αυτοί, δεν έχουν διαφορά, κατασκευαστικά, από τους ατμολεβήτες με ορθούς υδραυλούς και ένα υδροθάλαμο. Ο χαρακτηρισμός χρησιμοποιείται για εκείνες τις κατασκευές, στις οποίες ένα πολύ μεγάλο μέρος της αναγκαίας για την ατμοποίηση θερμότητας, προσδίδεται στους σωλήνες που περιέχουν το εργαζόμενο μέσο στο θάλαμο καύσης με την αρχή της ακτινοβολίας.

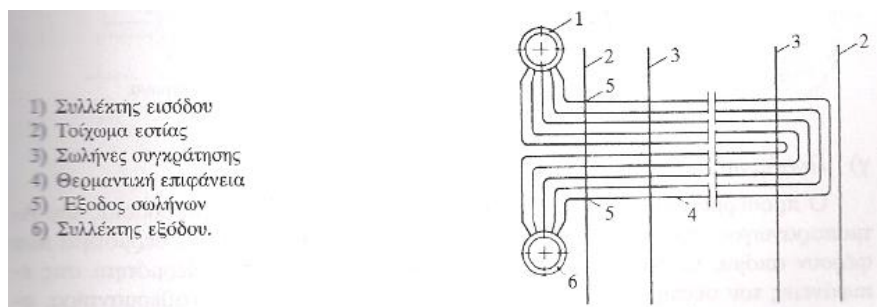
Στους ατμολέβητες ακτινοβολίας, ο θάλαμος καύσης επενδύεται μερικά ή ολικά με τους σωλήνες που αποτελούν την επιφάνεια ατμοποίησης. Η φλόγα και το παραγόμενο καυσαέριο κατά την διάρκεια της καύσης ακτινοβολεί έντονα προς τους σωλήνες αυτούς προσδίδοντάς τους ένα πολύ μεγάλο μέρος της συνολικά απαιτούμενης για την ατμοποίηση θερμότητας ή μερικές φορές και ολόκληρη την απαιτούμενη θερμότητα. Στην πρώτη περίπτωση, το ποσό της θερμότητας ατμοποίησης, συμπληρώνεται με χρήση συμπληρωματικής επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας που τοποθετείται έξω από το θάλαμο καύσης μέσα στον οχετό του καυσαερίου και συμπεριφέρεται ως επιφάνεια μεταφοράς.

Η εισαγωγή της εσωτερικής επένδυσης του θαλάμου καύσης με υδραυλούς, αρχικά έγινε για την αντιμετώπιση της ανάγκης ψύξης των τοιχωμάτων του θαλάμου. Η παρατήρηση ότι οι σωλήνες αυτοί της ψύξης, απορροφούσαν μεγάλα ποσά ακτινοβολούμενης θερμότητας εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας της φλόγας και του καυσαερίου, οδήγησε τους κατασκευαστές στην ιδέα χρησιμοποίησης αυτής της θερμότητας για την ατμοποίηση και καθιέρωσε τον ατμολέβητα ακτινοβολίας.

Οι σύγχρονοι ατμολέβητες εκτός από το σύστημα ατμοποίησης είναι εξοπλισμένοι με:

• Υπερθερμαντήρες

Μετά από το σύστημα ατμοποίησης ακολουθεί ο υπερθερμαντήρας, που έχει σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του κορεσμένου ατμού. Αυτός αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα (σερπαντίνες σωλήνων), που τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία στη ροή των καυσαερίων. Για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του υπερθερμαντήρα τοποθετούνται ψύκτες ατμού μεταξύ των τμημάτων του. Ανάλογα με την περιοχή τοποθέτησης του υπερθερμαντήρα και τον τρόπο μετάδοσης θερμότητας, διακρίνονται υπερθερμαντήρες ακτινοβολίας ή επαφής μεταφοράς. Στην εικόνα 2.11 φαίνεται η διάταξη σωλήνων του υπερθερμαντήρα.



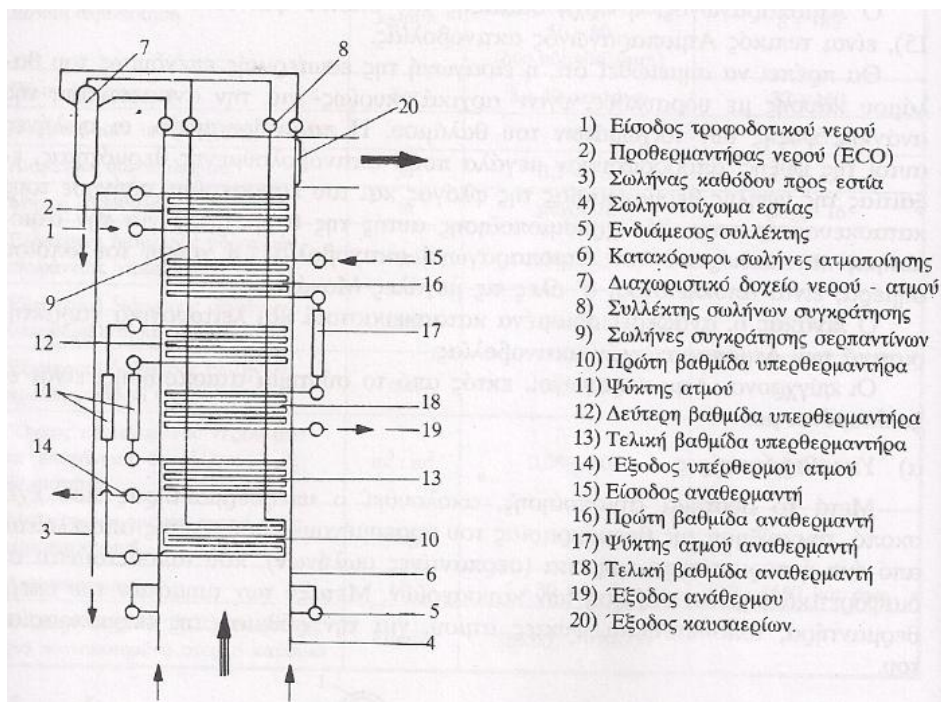
Εικόνα 2.11: Διάταξη σωλήνων υπερθερμαντήρα.

• Αναθερμαντήρες

Ο αναθερμαντής του ατμού Ιανό μια επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, που χρησιμεύει για την αναθέρμανση του ατμού μετά την μερική του αποτόνωση στο τμήμα υψηλής πίεσης του ατμοστροβίλου. Μορφολογικά, η κατασκευή του αναθερμαντήρα είναι ίδια με αυτή του υπερθερμαντήρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού γίνεται μέχρι τη θερμοκρασία που έχει αυτός κατά την έξοδό του από τον υπερθερμαντήρα. Και εδώ, είναι απαραίτητη η ψύξη του ατμού που γίνεται με διάφορες μεθόδους, π.χ. ψεκασμό νερού, εναλλάκτη θερμότητας κλπ.

• Προθερμαντήρες νερού

Ο προθερμαντήρας νερού (ECO) προθερμαίνει το νερό τροφοδοσίας του ατμολέβητα, πριν αυτό οδηγηθεί στο σύστημα ατμοποίησης. Η θερμότητα που έχουν ακόμα τα καυσαέρια τα οποία έχουν προσφέρει ήδη θερμότητα στις επιφάνειες του συστήματος ατμοποίησης, υπερθερμαντήρα και αναθερμαντήρα, αξιοποιούνται με την θέρμανση του τροφοδοτικού νερού, μέχρις θερμοκρασίας μικρότερης και 30-50°C της θερμοκρασίας κορεσμού που αντιστοιχεί στη πίεση λειτουργίας. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί σε περίπτωση μείωσης της πίεσης, μπορεί να παρουσιασθεί μερική ατμοποίηση η οποία θα επιφέρει ανομοιόμορφη κατανομή του μείγματος στους σωλήνες του συστήματος ατμοποίησης. Οι οικονομητήρες αποτελούνται από συλλέκτες εισόδου-εξόδου και από σερπαντίνες χαλυβδοσωλήνων γυμνών ή με πτερύγια (εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.12: Διάταξη οικονομητήρα.

• Προθερμαντήρας αέρα καύσης

Η χρησιμοποίηση των προθερμαντήρων αέρα καύσης, βελτιώνει τον βαθμό απόδοσης του ατμολέβητα, μειώνοντας την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων και επίσης, συμβάλει σημαντικά, στην καλύτερη και ταχύτερη διεργασία της καύσης, ιδιαίτερα, όταν τα καύσιμα έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία. Η τελική θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον προθερμαντήρα αέρα, εξαρτάται από την θερμοκρασία δρόσου των καυσαερίων και δεν πρέπει ποτέ να είναι ίση ή μικρότερη από αυτήν. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, τόσο υψηλότερο είναι το σημείο δρόσου των καυσαερίων και τόσο μικρότερη είναι η επιτρεπόμενη μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, στην έξοδο του προθερμαντήρα αέρα. Υπάρχουν πολλά είδη προθερμαντήρων αέρα, π.χ.

προθερμαντήρες με πλάκες, περιστρεφόμενοι προθερμαντήρες, ή προθερμαντήρες
αέρα με σωλήνες.

3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

Οι σημερινές κατασκευές ατμολεβήτων ταξινομούνται σε κατηγορίες με διάφορα κριτήρια όπως:

- Τη γεωμετρική μορφή (διάταξη θερμαινόμενων επιφανειών και αριθμό διαδρομών καυσαερίου).
- Τον τρόπο κυκλοφορίας του εργαζόμενου μέσου.
- Την διαμόρφωση του συστήματος καύσης.

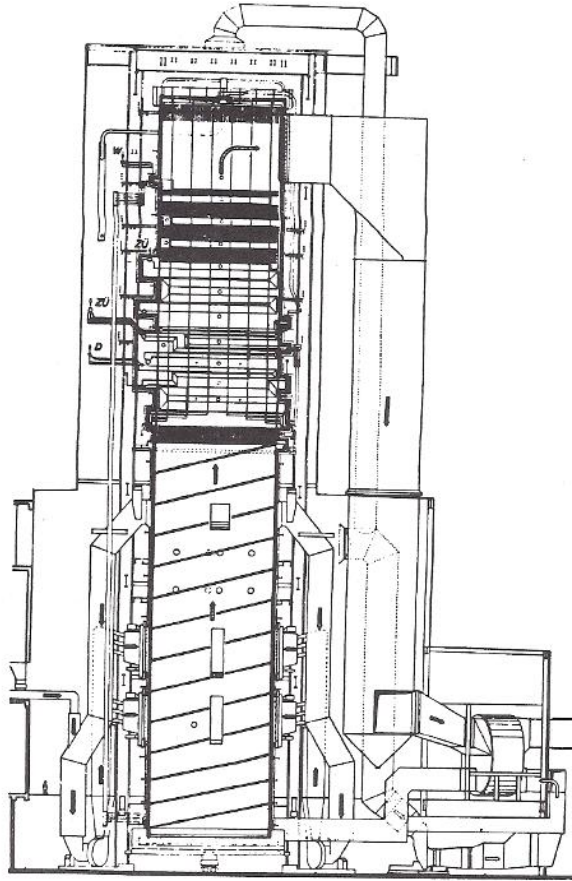
3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΡΦΗ

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν κυρίως δύο τύποι ατμολεβήτων:

- Ατμολέβητες με μια διαδρομή καυσαερίου.

Οι ατμολέβητες αυτοί έχουν μεγάλο ύψος με μικρή σχετικά επιφάνεια βάσης. Το καυσαέριο που σχηματίζεται στο κάτω τμήμα του ατμολέβητα, όπου είναι και η εστία του, ανεβαίνει από τις θερμαινόμενες επιφάνειες που έχουν κατακόρυφη διάταξη και βγαίνει στην ατμόσφαιρα από την καμινάδα που είναι τοποθετημένη στην οροφή του ατμολέβητα.

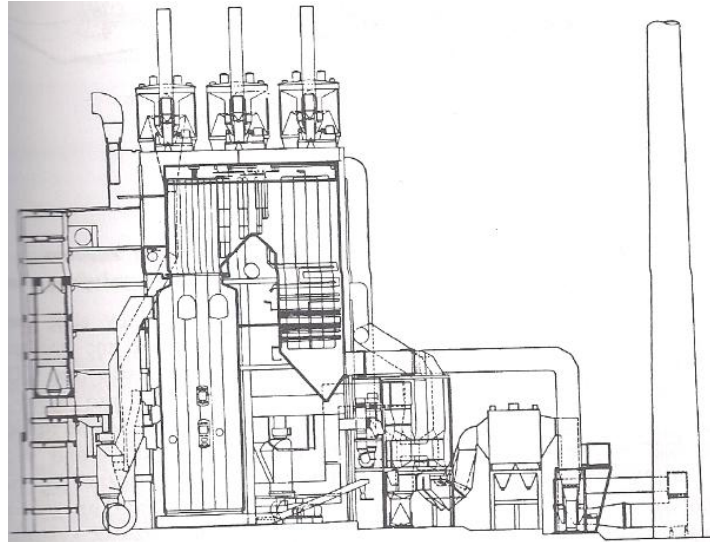
Συνήθως κατασκευάζονται για καύσιμα που τα προϊόντα καύσης τους δεν απαιτούν εγκατάσταση φίλτρων. Όμως, σε περιπτώσεις που κατασκευάζονται ατμολέβητες μιας διαδρομής καυσαερίου, για καύσιμα που περιέχουν τέφρα, για να αποφευχθεί η εγκατάσταση των φίλτρων στην κορυφή του ατμολέβητα, η οποία έχει μεγάλο κόστος, οδηγούνται με κατάλληλο οχετό τα καυσαέρια από την κορυφή του ατμολέβητα προς την βάση του, όπου τοποθετούνται τα φίλτρα καθαρισμού. Μια τέτοια εγκατάσταση φαίνεται στην εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13: Ατμολέβητας τύπου Benson, μιας διαδρομής καυσίμου.

➤ Ατμολέβητες με δύο διαδρομές καυσαερίου.

Αυτοί υπάρχουν για όλα τα είδη καυσίμων. Έχουν μεγαλύτερο εμβαδόν βάσης και μικρότερο ύψος σε σχέση με τους προηγούμενους. Αυτό είναι και πλεονέκτημα για την στήριξη και τη θεμελίωση της κατασκευής, ιδίως, όταν η εγκατάσταση έχει γίνει σε σεισμογενή περιοχή. Στην εικόνα 3.14 φαίνεται μια τέτοια εγκατάσταση.



Εικόνα 3.14: Ατμολέβητας φυσικής κυκλοφορίας, δύο διαδρομών.

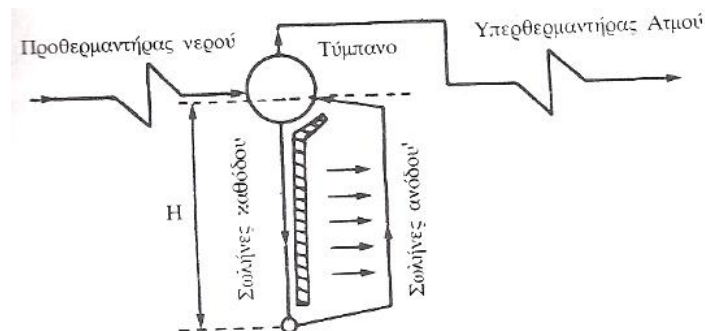
3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΟΥ.

Σύμφωνα με το παραπάνω κριτήριο οι ατμολέβητες χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Ατμολέβητες με φυσική κυκλοφορία.

Σε αυτούς εξασφαλίζεται αδιάκοπη κίνηση του νερού μέσα στους σωλήνες, που αποτελούν την επιφάνεια ατμοποίησης, χωρίς τη βοήθεια τεχνητού μέσου (αντλίας) αλλά μόνο με την εκμετάλλευση φυσικών αιτιών.

Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής: Η επιφάνεια ατμοποίησης αποτελείται από δύο ομάδες σωλήνων που μεταξύ τους επικοινωνούν στο πάνω μέρος μεν, μέσω ενός τυμπάνου στο δε κάτω μέρος, μέσω μικρότερων τυμπάνων (συλλεκτών-διανομέων) και οριζόντιων σωλήνων. Έτσι, δημιουργείται κλειστό κύκλωμα ροής όπως δείχνει και η εικόνα 3.15. Από τις δύο παραπάνω ομάδες σωλήνων, η μια ομάδα δέχεται έντονη θερμική φόρτιση, ενώ η δεύτερη ομάδα προστατεύεται τελείως, από την επίδραση της φλόγας-καυσαερίου ή δέχεται μικρή θερμική φόρτιση.

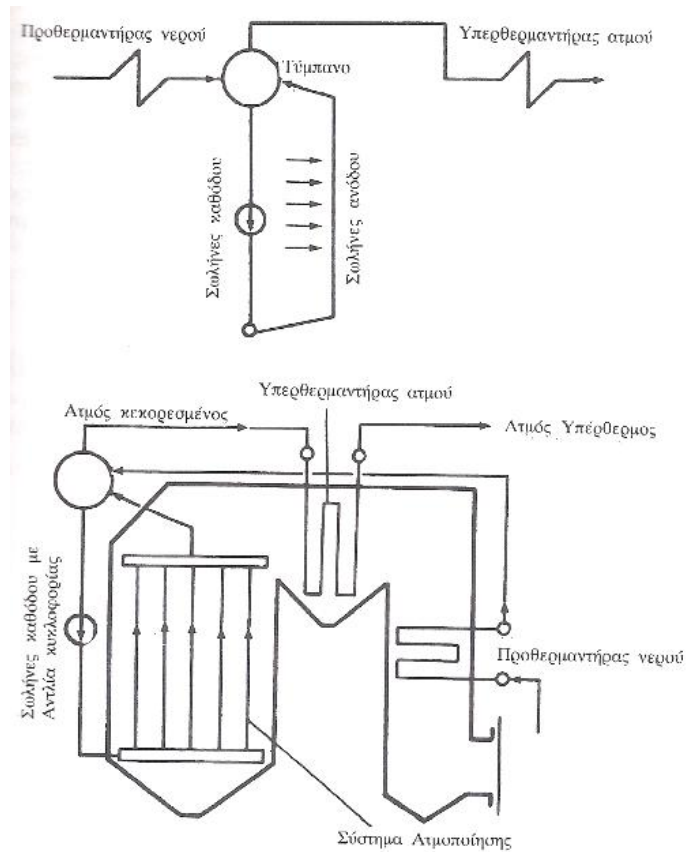


Εικόνα 3.15: Αρχή φυσικής κυκλοφορίας.

Στο νερό που βρίσκεται στην πρώτη ομάδα σωλήνων, εξαιτίας της απορρόφησης θερμότητας, παρατηρείται μερική ατμοποίηση, ενώ στους σωλήνες της δεύτερης ομάδας, το νερό είναι κορεσμένο (χωρίς παρουσία ατμού). Αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητα του περιεχόμενου των σωλήνων της δεύτερης ομάδας είναι μεγαλύτερη από εκείνη της πρώτης ομάδας. Η διαφορά αυτή πυκνότητας, δημιουργεί μια κίνηση του νερού, το οποίο από το τύμπανο κατεβαίνει στους σωλήνες της δεύτερης ομάδας, ενώ το μείγμα νερού-ατμού, ανεβαίνει προς το τύμπανο, μέσα στους σωλήνες της πρώτης ομάδας (σωλήνες ανόδου). Μέσα στο τύμπανο γίνεται διαχωρισμός του ατμού από το νερό και ο μιν ατμός μαζεύεται στο πάνω μέρος του τυμπάνου, το δε νερό μένει στο κάτω μέρος απ' όπου ξαναμπάινει στους σωλήνες καθόδου για να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία. Η διαφορά πυκνοτήτων στις δύο ομάδες σωλήνων εξασφαλίζει μια διαφορά πίεσης, όπου αυτή είναι η γενεσιουργός αιτία της (φυσικής) κυκλοφορίας του νερού στους σωλήνες.

➤ Ατμολέβητες με τεχνητή κυκλοφορία.

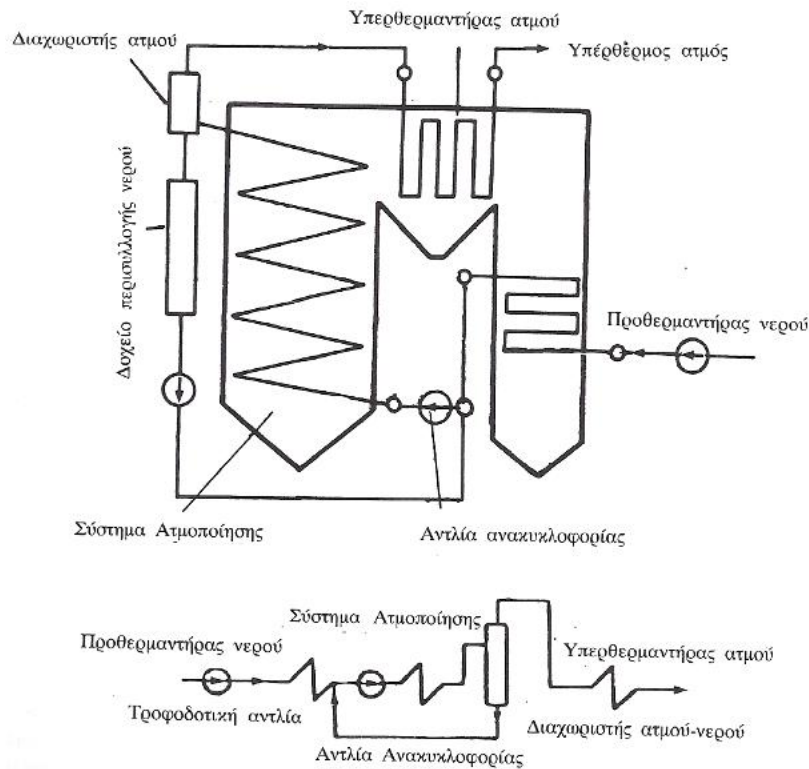
Αν για κατασκευαστικούς λόγους σε έναν ατμολέβητα με τύμπανο, δεν είναι αρκετή η διαφορά στατικής πίεσης στο σύστημα ατμοποίησης, για να δημιουργήσει μια εξασφαλισμένη (φυσική) ανακυκλοφορία του νερού σ' αυτό, τότε στην ομάδα των σωλήνων καθόδου, τοποθετούνται μία ή περισσότερες αντλίες, για την ενίσχυση της ανακυκλοφορίας. Ο υπολογισμός της ή των αντλιών, γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η ανακυκλοφορία στους σωλήνες των επιφανειών ατμοποίησης, να είναι τριπλάσια ως τετραπλάσια από την ατμοπαραγωγή. Η εικόνα 3.16 δείχνει την αρχή λειτουργίας και τη διάταξη των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας ενός ατμολέβητα τεχνητής κυκλοφορίας.



Εικόνα 3.16: Διάταξη επιφανειών ατμολέβητα τεχνητής κυκλοφορίας.

➤ Ατμολέβητες εξαναγκασμένης ροής.

Στους ατμολέβητες εξαναγκασμένης ροής, δεν γίνεται ανακυκλοφορία του νερού στο σύστημα ατμοποίησης, αλλά το εργαζόμενο μέσο, εξαναγκάζεται με την τροφοδοτική αντλία να κινηθεί από την είσοδο του ατμολέβητα μέχρι την έξοδό του. Έτσι, στο πλήρες φορτίο του ατμολέβητα, η ροή στους σωλήνες της επιφάνειας ατμοποίησης, είναι σχεδόν ίση με τη ροή του υπέρθερμου ατμού στην έξοδο του υπερθερμαντήρα. Η αναγκαία ταχύτητα του νερού μέσα στους σωλήνες για μια εξασφαλισμένη συναλλαγή θερμότητας, επιτυγχάνεται με την εκλογή σωλήνων μικρής διατομής. Η εικόνα 3.17 δείχνει την διάταξη των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας ενός τέτοιου ατμολέβητα.



Εικόνα 3.17: Σχηματική διάταξη επιφανειών ατμολέβητα εξαναγκασμένης ροής.

3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση της εστίας ενός ατμολέβητα επηρεάζεται από την πίεση του συστήματος, την επιθυμητή ατμοπαγωγή, την θερμοκρασία του αέρα καύσης και ακόμα, από τους παρακάτω βασικούς παράγοντες:

- A. Το είδος του καυσίμου καύσης,
- B. Το είδος του καυσίμου,
- Γ. Το χώρο που διατίθεται για την εγκατάσταση του ατμολέβητα και
- Δ. Την μέθοδο απαγωγής της τέφρας του καυσίμου.

Έτσι, με βάση το σύστημα καύσης οι ατμολέβητες ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Σε ατμολέβητες με όλους τους καυστήρες στην μπροστινή ή πίσω πλευρά του θαλάμου καύσης. Το βάθος του θαλάμου καύσης εξαρτάται από το μήκος της φλόγας, που είναι συνάρτηση του είδους και της παροχής του καυσίμου. Σε καμιά περίπτωση δεν επιτρέπεται να έρχεται η φλόγα σε επαφή με το απέναντι τοίχωμα του θαλάμου καύσης.
- Σε ατμολέβητες με καυστήρες τοποθετημένους σε δύο απέναντι πλευρές του θαλάμου καύσης.

- Σε ατμολέβητες με γωνιακή διάταξη καυστήρων. Οι καυστήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφες σειρές, στις τέσσερις γωνίες του θαλάμου καύσης και οι φλόγες είναι εφαιπτόμενες σε κύκλο, στο κέντρο της διατομής του θαλάμου καύσης.
- Σε ατμολέβητες με τους καυστήρες στην οροφή ή τον πυθμένα του θαλάμου καύσης. Οι διατάξεις αυτές είναι κατάλληλες για καυστήρες με μεγάλες παροχές καυσίμου. Σ' αυτές τις εστίες, αν για κάποιο λόγο, τεθεί εκτός λειτουργίας ένας καυστήρας, τότε καταστρέφεται η ομοιόμορφη κατανομή και μετάδοση θερμότητας, στις επιφάνειες της εστίας. Ακόμα, σε μια τέτοια διάταξη, απαιτείται από τους καυστήρες, τέλεια ανάμιξη αέρα και καυσίμου, γιατί δεν δημιουργούνται προϋποθέσεις στροβιλισμού του καυσαερίου μέσα στο θάλαμο καύσης, που θα βελτίωναν την ανάμειξη, όπως συμβαίνει στις άλλες διατάξεις καυστήρων.

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση της εστίας είναι και το είδος του καυσίμου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Έτσι παρατηρούνται τα εξής:

- Καύσιμα που περιέχουν πολλά άλατα, απαιτούν μεγάλες ψυκτικές επιφάνειες στο θάλαμο καύσης και μεγάλες αποστάσεις σωλήνων στις υπόλοιπες θερμαινόμενες επιφάνειες του ατμολέβητα για την αποφυγή ρύπανσης.
- Το βανάδιο που περιέχεται στο βαρύ πετρέλαιο, μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις σε σημεία της θερμαινόμενης επιφάνειας του ατμολέβητα με υψηλές θερμοκρασίες και ακόμα ευνοεί τον μετασχηματισμό του SO_2 , που περιέχεται στο καύσιμο, σε SO_3 .
- Το βάθος και το ύψος του θαλάμου καύσης καθορίζεται από το χρόνο που χρειάζονται τα σταγονίδια του υγρού ή οι κόκκοι του στερεού καυσίμου, να καούν τελείως. Ο χρόνος αυτός επηρεάζεται από την σύσταση του καυσίμου, το μέγεθος του κόκκου ή του σταγονιδίου του καυσίμου, την περιεκτικότητα του καυσίμου σε τέφρα, τον τρόπο προσαγωγής και παροχής του αέρα της καύσης, τον τρόπο διασκορπισμού του καυσίμου, την ταχύτητα εξόδου του από τον καυστήρα κλπ.
- Το σημείο τήξης της τέφρας των γαιανθράκων, λαμβάνεται υπ' όψη στον καθορισμό της θερμαινόμενης εξόδου του καυσαερίου από το θάλαμο καύσης, καθώς επίσης και στη διάταξη των επιφανειών του υπερθερμαντήρα ατμού, στο τέλος του θαλάμου.
- Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε υγρασία, επηρεάζει την κατασκευή και την διάταξη του θαλάμου καύσης, των καυστήρων κλπ.
- Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε τέφρα και η χημική σύστασή της, καθορίζουν το αν η απαγωγή της, θα γίνεται σε στερεή ή υγρή κατάσταση.

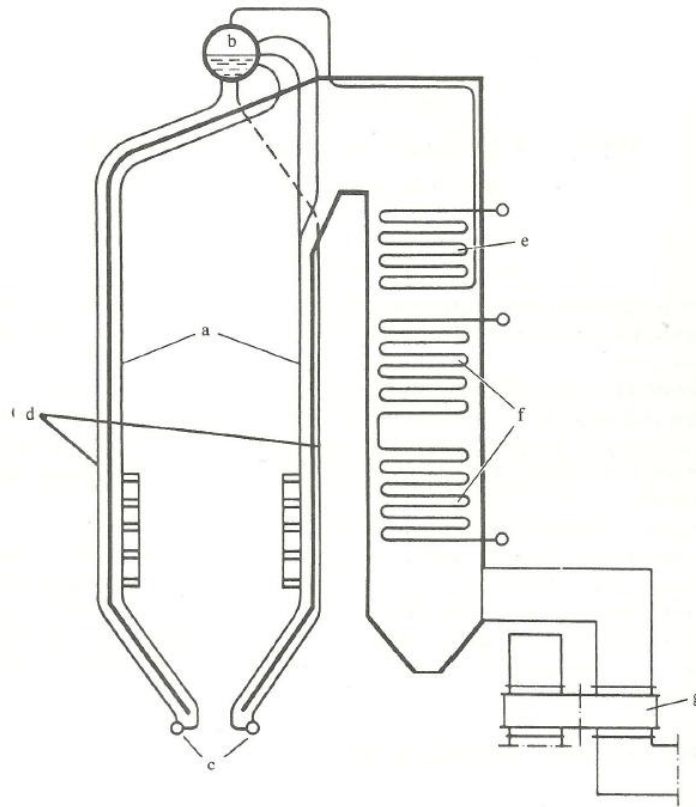
4. ΚΥΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

Τα κύρια τμήματα ενός ατμολέβητα είναι το σύστημα ατμοποίησης, ο οικονομητήρας (προθερμαντήρας νερού), ο υπερθερμαντήρας και ο αναθερμαντήρας ατμού.

4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1.1 Ατμολέβητες φυσικής κυκλοφορίας

Το σύστημα ατμοποίησης ενός ατμολέβητα φυσικής κυκλοφορίας, αποτελείται από ένα τύμπανο, ένα σύστημα θερμαινόμενων κατακόρυφων σωλήνων ανόδου και τους θερμαινόμενους σωλήνες καθόδου. Σε παλαιότερες κατασκευές, οι σωλήνες ανόδου και καθόδου, ήταν της ίδιας διαμέτρου. Στους σύγχρονους μεγάλους ατμολέβητες, υπάρχουν λίγοι μόνο σωλήνες καθόδου μεγάλης διαμέτρου, που βρίσκονται έξω από τη μόνωση του Ατμοπαραγωγού και συνδέουν το τύμπανο με τον κάτω συλλέκτη. Η εικόνα 4.18 παριστάνει σχηματικά την διάταξη ενός ατμολέβητα φυσικής κυκλοφορίας, όπου φαίνονται τα στοιχεία του τμήματος ατμοποίησης.



Εικόνα 4.18: Διάταξη θερμαινόμενων επιφανειών ατμολέβητα φυσικής κυκλοφορίας.

- α) Σωληνοτοίχωμα σωλήνων ανόδου στο θάλαμο καύσης.
- β) Τύμπανο.
- γ) Κάτω συλλέκτες.
- δ) Σωλήνες καθόδου (έξω από το περίβλημα του Ατμοπαραγωγού).
- ε) Υπερθερμαντήρας ατμού.
- στ) Οικονομητήρας.
- ζ) Προθερμαντήρας αέρα.

Συνήθως, όλοι οι σωλήνες ανόδου δεν συνδέονται απ' ευθείας με το τύμπανο αλλά μέσω ενδιαμέσων συλλεκτών, ώστε να αποφευχθεί κατά το δυνατόν η διατήρηση του τυμπάνου σε πολλά σημεία. Μια άλλη δυνατή διάταξη είναι η συνένωση ανά δύο των σωλήνων ανόδου, πριν από την είσοδό τους στο τύμπανο.

Σε απότομες μεταβολές πίεσης, σχηματίζεται ατμός μέσα στους σωλήνες καθόδου, που δημιουργεί ανωμαλίες στην ανακυκλοφορία του νερού μέσα στο σύστημα. Για το λόγω αυτό δεν επιτρέπεται η ταχύτητα μεταβολής της πίεσης να ξεπερνά τα $1 \div 3$ bar/min.

Για να αποφευχθεί η ανωμαλία που επιφέρει ο σχηματισμός ατμού στους σωλήνες καθόδου, μπορεί κανείς να τους εκλέξει με μεγαλύτερη διάμετρο και να τους τοποθετήσει κατακόρυφα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εύκολη απαγωγή τυχόν φυσαλίδων από το σωλήνα καθόδου προς το τύμπανο, χωρίς να δυσχεραθεί η (φυσική) ροή του νερού προς τα κάτω, με την τοποθέτηση δε των σωλήνων καθόδου έξω από τη μόνωση του Ατμοπαραγωγού, αποφεύγεται η θερμική φόρτισή τους και συνεπώς ο σχηματισμός φυσαλίδων ατμού.

Βασική επιδίωξη στο σχεδιασμό ενός ατμολέβητα φυσικής κυκλοφορίας είναι η εξασφάλιση μιας ικανοποιητικής ανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα ατμοποίησης, προκειμένου να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ψύξη των σωλήνων ανόδου σ' όλα τα σημεία τους. Αυτό είναι δυνατόν όταν, η κατ' όγκο περιεκτικότητα σε ατμό του μείγματος στην έξοδο των σωλήνων ανόδου, δεν ξεπερνά τα 70 μέχρι 80%.

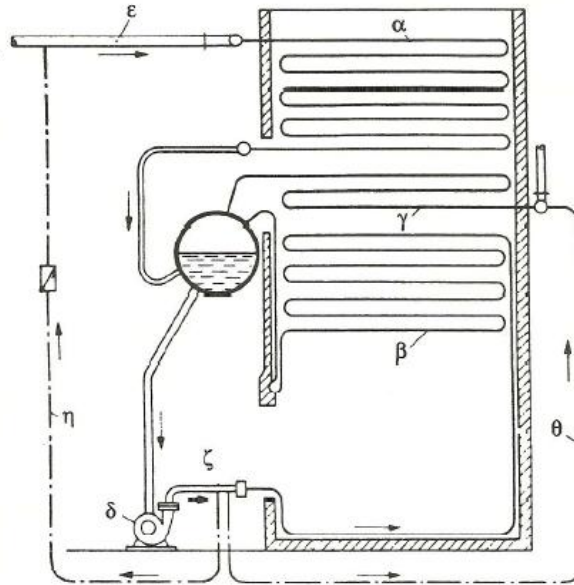
Μέγιστη προσοχή πρέπει να δοθεί στον καλό διαχωρισμό νερού-ατμού στο άνω τύμπανο, ώστε στον υπερθερμαντήρα να εισάγεται ατμός απαλλαγμένος από άλατα.

Η επιτρεπόμενη φόρτιση του ατμοχώρου του τυμπάνου, δηλαδή η ωριαία παραγωγή κορεσμένου ατμού (m^3/h) προς τον όγκο (m^3) που καταλαμβάνει ο ατμός μέσα στο τύμπανο, είναι συνάρτηση της πίεσης λειτουργίας του ατμολέβητα, καθώς και του τρόπου εισόδου των σωλήνων ανόδου στο τύμπανο.

Ο λόγος εξάλλου της συνολικής διατομής των σωλήνων ανόδου προς την αντίστοιχη των σωλήνων καθόδου, εξαρτάται από την πίεση του συστήματος, και είναι για πιέσεις κάτω των 50 bar $5 \div 1$, για πιέσεις γύρω στα 100 bar $4 \div 1$, και για πιέσεις μεταξύ 100 και 50 bar, $3 \div 1$.

4.1.2 Ατμολέβητες τεχνητής κυκλοφορίας

Η εικόνα 4.19 παριστάνει σχηματικά ένα ατμολέβητα τύπου LaMont, που είναι αντιπροσωπευτικός τύπος ατμολέβητα τεχνητής κυκλοφορίας.



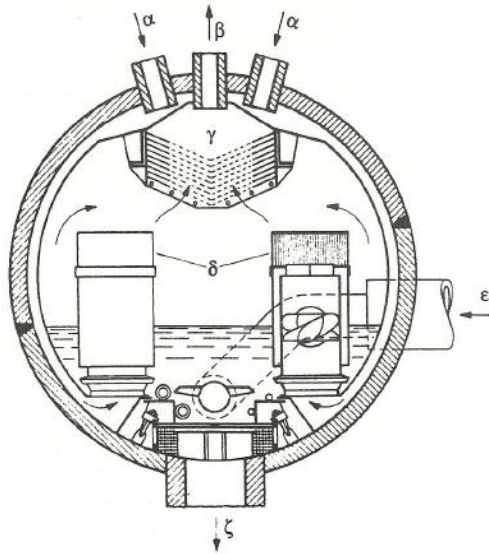
Εικόνα 4.19: Σχηματική παράσταση ατμολέβητα LaMont.

- α) Οικονομητήρας.
- β) Σύστημα ατμοποίησης.
- γ) Υπερθερμαντήρας.
- δ) Αντλία ανακυκλοφορίας.
- ε) Σωλήνας τροφοδοτικού νερού.
- ζ) Σωλήνας κατάθλιψης.
- η) Σωλήνας ανακυκλοφορίας για την ψύξη του οικονομητήρα στην εκκίνηση. (Επίσης λειτουργεί στα χαμηλά φορτία).
- θ) Σωλήνας ανακυκλοφορίας για ψύξη του υπερθερμαντήρα στην εκκίνηση.

Η αντλία ανακυκλοφορίας (δ) αναρροφά νερό από το τύμπανο και καταθλίβει στους συλλέκτες του συστήματος ατμοποίησης. Το μείγμα νερού-ατμού που βγαίνει από τους σωλήνες ατμοποίησης, διοχετεύεται στο τύμπανο κατ' ευθείαν ή μέσω ενδιάμεσου συλλέκτη. Το αποχωριζόμενο νερό ανακυκλοφορεί πάλι στο σύστημα ατμοποίησης με τη βοήθεια της αντλίας (δ) ενώ ο κορεσμένος ατμός κατευθύνεται στον υπερθερμαντήρα.

Οι σωλήνες ανόδου των ατμολεβήτων τεχνητής κυκλοφορίας, έχουν γενικά μικρότερη διάμετρο από τους αντίστοιχους των ατμολεβήτων φυσικής κυκλοφορίας. Για την επίτευξη μιας ομοιόμορφης και σταθερής κατανομής του νερού στους σωλήνες του συστήματος ατμοποίησης, τοποθετούνται διαφράγματα στην είσοδο κάθε σωλήνα ατμοποίησης που προκαλούν μια πρόσθετη πτώση πίεσης.

Οι ατμολέβητες τεχνητής κυκλοφορίας, διαθέτουν σχεδόν πάντα φυγοκεντρικούς διαχωριστές στο τύμπανο. (εικόνα 4.20).



Εικόνα 4.20: Τομή τυμπάνου με φυγοκεντρικούς διαχωριστές.

- α) Μείγμα νερού-ατμού.
- β) Έξοδος ατμού.
- γ) Φίλτρο ατμού.
- δ) Φυγοκεντρικός διαχωριστής.
- ε) Τροφοδοτικό νερό.
- ζ) Σωλήνες καθόδου.

Ένας τέτοιος διαχωριστής είναι τόσο πιο αποδοτικός, όσο μεγαλύτερη πτώση πίεσης έχει στη διάθεσή του. Για το λόγο αυτό, οι ατμολέβητες τεχνητής κυκλοφορίας, που διαθέτουν αρκετή πτώση πίεσης, έχουν τύμπανα με σχετικά μικρές διαστάσεις.

4.1.3 Ατμολέβητες εξαναγκασμένης ροής

Υπάρχουν τέσσερες διαφορετικές κατασκευές του συστήματος ατμοποίησης των ατμολεβήτων αυτών:

- α) Σύστημα ατμοποίησης σε ομάδες σωλήνων.
- β) Σύστημα σωλήνων ανόδου-καθόδου.
- γ) Συνδυασμός ομάδων σωλήνων με συστήματα σωλήνων ανόδου-καθόδου.
- δ) Παράλληλα συστήματα σωλήνων ανόδου-καθόδου.

α) Σύστημα ατμοποίησης σε ομάδες σωλήνων.

Οι σωλήνες ατμοποίησης τοποθετούνται στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης, σε κατάλληλο αριθμό και τρόπο ώστε, να σχηματίζονται σωληνοτοιχώματα σε σχήμα μαιάνδρου. Σε πρόσφατες κατασκευές προτιμάται η επένδυση του θαλάμου καύσης με σωλήνες που έχουν ορισμένη και σταθερή κλίση σε όλες τις πλευρές, διάταξη ή κλίση στις δύο απέναντι πλευρές και οριζόντια διάταξη στις δύο άλλες.

β) Σύστημα σωλήνων ανόδου-καθόδου.

Η ατμοποίηση γίνεται μόνο σε θερμαινόμενες επιφάνειες που αποτελούνται από κατακόρυφους σωλήνες. Το μείγμα νερού-ατμού με τη βοήθεια σωλήνων καθόδου (μη θερμαινόμενων) οδηγείται στον κάτω συλλέκτη της επόμενης θερμαινόμενης επιφάνειας. Το σύστημα αυτό, έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους, επειδή το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας γίνεται στο εργοστάσιο του κατασκευαστού.

γ) Συνδυασμένα συστήματα ατμοποίησης με ομάδες σωλήνων και σωλήνες καθόδου.

Αυτός ο τρόπος κατασκευής εφαρμόζεται κυρίως στους ατμολέβητες όπου προγραμματίζεται απαγωγή τέφρας σε ρευστή κατάσταση. Συστήματα ατμοποίησης με ομάδες σωλήνων, προτιμώνται εκεί όπου η διάταξη συστημάτων σωλήνων ανόδου-καθόδου παρουσιάζει κατασκευαστικές δυσκολίες.

δ) Παράλληλα συστήματα σωλήνων ανόδου-καθόδου.

Αν κανείς θελήσει να εφαρμόσει τα συστήματα σωλήνων ανόδου-καθόδου σε ατμολέβητες μεγάλης ατμοπαραγωγής, συναντά δυσκολίες στην κατασκευή των συλλεκτών που αναγκαστικά πρέπει να έχουν μεγάλα μήκη. Σε τέτοιες περιπτώσεις η επιφάνεια ατμοποίησης συγκροτείται από ένα αριθμό παράλληλων και ξεχωριστών συστημάτων σωλήνων ανόδου-καθόδου, χωρίς σημεία ανάμειξης μεταξύ τους. Έτσι, η επιφάνεια ατμοποίησης αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό τέτοιων παράλληλων συστημάτων, με τους σωλήνες καθόδου, έξω από την θερμαινόμενη περιοχή.

Γενικά, τα συστήματα β, γ και δ χρησιμοποιούνται σπάνια σήμερα. Σχεδόν όλες οι διατάξεις των σωλήνων των εστιών στους νέους ατμολέβητες, κατασκευάζονται με κατακόρυφους ή υπό κλίση σωλήνες.

4.1.4 Κατασκευαστικά στοιχεία

Οι καταπονήσεις υλικών στους ατμολέβητες χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Στατικές και δυναμικές φορτίσεις, π.χ. στηρίξεις και εδράσεις μηχανών και τεμαχίων που υφίστανται κραδασμούς και ταλαντώσεις, όπως μύλοι, φυσητήρες, αντλίες, οχετοί, στηρίξεις τοιχωμάτων, σωληνώσεις και δοχεία τροφοδοτικού νερού.
- Στατικές φορτίσεις ορισμένων εξαρτημάτων ή τμημάτων κατασκευής.
- Στατικές θερμικές φορτίσεις που παρουσιάζονται σε όλα τα υπό πίεση τμήματα που βρίσκονται κάτω από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών ή ακόμα στηρίγματα τα οποία σε υψηλές θερμοκρασίες πρέπει να μεταφέρουν σημαντικές δυνάμεις.
- Θερμική καταπόνηση τμημάτων, π.χ. οδηγοί ροής στους καυστήρες ή στους οχετούς καυσαερίων, εσχάρια και θερμομονώσεις.
- Θερμικές και δυναμικές φορτίσεις τμημάτων, όπως τα τοιχώματα μια εστίας κλπ.

Για την κατασκευή βασική σημασία έχει εάν:

- Όλες οι δυνατές, ακόμα και απίθανες, λειτουργικές καταστάσεις της εγκατάστασης να μην προκαλούν προβλήματα λειτουργίας στο αντίστοιχο τμήμα.
- Τα κατά την διάρκεια της λειτουργίας θερμαινόμενα τμήματα ή εξαρτήματα μπορούν να διαστέλλονται χωρίς να δημιουργούν πρόσθετες καταπονήσεις των υλικών.
- Οι κατά την διάρκεια της λειτουργίας δημιουργούμενες θερμικές τάσεις, να μην οδηγούν σε απαγορευτικές καταστάσεις λειτουργίας.

4.2 ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ.

4.2.1 Γενικά.

Ο υπερθερμαντήρας ατμού έχει σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του κορεσμένου ατμού, που έρχεται από το σύστημα ατμοποίησης. Η ανάγκη υπερθέρμανσης του ατμού προέκυψε από τη διαπίστωση ότι, αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του ατμού που παρέχεται προς τον ατμοστρόβιλο, αυξάνει και τον βαθμό απόδοσής του και κατ' επέκταση το γενικό βαθμό απόδοσης των ατμοηλεκτρικών μονάδων.

Ο υπερθερμαντήρας αποτελείται, συνήθως από δύο ή τρία τμήματα που τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία μέσα στην διαδρομή του καυσαερίου. Η ροή του ατμού μέσα στους σωλήνες του υπερθερμαντήρα γίνεται ομόρροπα ή αντίρροπα προς τη ροή του καυσαερίου. Μεταξύ των τμημάτων του υπερθερμαντήρα, παρεμβάλλονται ψύκτες ατμού. Οι ψύκτες είναι δοχεία πίεσης, μέσα από τα οποία περνά ο ατμός, κατά την έξοδό του από τα ένα τμήμα του υπερθερμαντήρα και την είσοδό του στο άλλο. Στα κιβώτια γίνεται ψεκασμός νερού σε ρυθμιζόμενες ποσότητες, το οποίο αναμειγνύεται με τον ατμό. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η ρύθμιση της θερμοκρασίας του ατμού, κατά την έξοδό του από ένα τμήμα υπερθερμαντήρα. Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού συνήθως επιδιώκεται και επιτυγχάνεται να είναι σταθερή στην περιοχή από 70% έως 100% του φορτίου του ατμολέβητα.

Αν η πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα είναι μέχρι 125 bar, η θερμότητα ατμοποίησης είναι ακόμα αρκετά μεγάλη ώστε, ολόκληρη η επιφάνεια του σωληνοτοιχώματος που επενδύει την εστία, να χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως επιφάνεια ατμοποίησης. Στην περίπτωση αυτή ο υπερθερμαντήρας ατμού τοποθετείται εν μέρει στο μεταβατικό τμήμα του οχετού καυσαερίου, μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης διαδρομής και εν μέρει στον οχετό της δεύτερης διαδρομής.

Σε ατμολέβητες, για τους οποίους προβλέπεται απαγωγή της τέφρας σε ρευστή κατάσταση, ή σε περιπτώσεις που η τέφρα του καυσίμου παρουσιάζει χαμηλό σημείο τήξης, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι υπερθερμαντήρες Schotten. Πρόκειται

για τμήματα υπερθερμαντήρων που κρέμονται από την οροφή του θαλάμου καύσης, τοποθετούνται κατά διαστήματα από 500 μέχρι 1000 mm, και εκτίθενται στην έντονη ακτινοβολία της φλόγας-καυσαερίου του θαλάμου καύσης. Με τον τρόπο αυτό τα καυσαέρια πριν εισέλθουν στις θερμαινόμενες επιφάνειες «μεταφοράς» του ατμολέβητα, ψύχονται δραστικά από τον υπερθερμαντήρα, με αποτέλεσμα όσα μόρια (ρευστής) τέφρας υπάρχουν ακόμα σ' αυτά, να στερεοποιούνται. Έτσι, αποφεύγεται η ρύπανση με ρευστή τέφρα των επόμενων θερμαινόμενων επιφανειών του ατμολέβητα.

Για πιέσεις λειτουργίας πάνω από 125 bar, είναι πιθανό η συναλλασσόμενη θερμότητα στο σωληνοτόιχωμα που επενδύει την εστία, να είναι μεγαλύτερη από τη θερμότητα ατμοποίησης (η οποία μειώνεται όσο αυξάνεται η πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα). Στην περίπτωση αυτή το πάνω τμήμα της εστίας, διαμορφώνεται ως τμήμα του υπερθερμαντήρα ατμού και συναλλάσσει θερμότητα με το καυσαέριο, με ακτινοβολία. Από ένα τέτοιο υπερθερμαντήρα (ακτινοβολίας) η θερμοκρασία εξόδου του ατμού μπορεί να διατηρηθεί σταθερή σε μεγάλη περιοχή φορτίων, με μικρή μόνο ποσότητα νερού ψεκασμού.



Εικόνα 4.21:Υπερθερμαντήρας.

4.2.2 Συγκρότηση των υπερθερμαντήρων.

Με γνώμονα το τελικό κόστος κατασκευής και την πτώση πίεσης, σε συνδυασμό με την ασφάλεια λειτουργίας, η επιφάνεια του υπερθερμαντήρα αυξάνεται σαν ποσοστό της συνολικής επιφάνειας του ατμολέβητα, όσο αυξάνεται η πίεση λειτουργίας. Σε κατασκευές ατμολεβήτων υπερκρίσιμων πιέσεων, η επιφάνεια του υπερθερμαντήρα είναι ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό της όλης επιφάνειας του ατμολέβητα.

Γενικά, οι υπερθερμαντήρες συγκροτούνται από ένα μεγάλο αριθμό παράλληλων σωλήνων μικρής διαμέτρου. Τα άκρα των σωλήνων συνδέονται προς τους συλλέκτες εισόδου και εξόδου. Το καυσαέριο, κινείται εξωτερικά των σωλήνων. Η συγκρότηση του υπερθερμαντήρα (διαστάσεις σωλήνων, διάταξη κλπ.) γίνεται με γνώμονα το τελικό μικρότερο κόστος κατασκευής, σε συνδυασμό με την ασφάλεια λειτουργίας και την ευχέρεια καθαρισμού και γενικότερα συντήρησης.

Συνήθως οι υπερθερμαντήρες δεν αποτελούν ένα ενιαίο μπλοκ σωλήνων, αλλά διαχωρίζονται σε αρκετά τμήματα (βαθμίδες). Ο διαχωρισμός γίνεται για την ευκολία κατασκευής και τοποθέτησης, αλλά και για την ευχέρεια επιθεώρησης και καθαρισμού των σωλήνων. Για το λόγο αυτό, μεταξύ των βαθμίδων αφήνεται επαρκής χώρος μέσα στον οχετό του καυσαερίου, ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση για επιθεώρηση και καθαρισμό. Ακόμα, ο διαχωρισμός σε βαθμίδες, δίνει τη δυνατότητα επιλογής του πιο κατάλληλου υλικού των σωλήνων κάθε βαθμίδας, ανάλογα με τη θερμική της καταπόνηση, ώστε τελικά να προκύψει η πιο οικονομική κατασκευή.

Μεταξύ δύο διαδοχικών βαθμίδων, τοποθετούνται συνήθως, οι ψύκτες ατμού, στους οποίους γίνεται ψεκασμός νερού για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ατμού.

Σε περιπτώσεις υψηλών πιέσεων λειτουργίας και σε συνδυασμό με τη μεγάλη θερμική καταπόνηση, την οποία υφίστανται οι συλλέκτες των υπερθερμαντήρων, δημιουργείται η ανάγκη κατασκευής τους σε κυλινδρική μορφή με μεγάλο πάχος και χωρίς ραφή.

Οι σωλήνες του υπερθερμαντήρα, συνδέονται με τους συλλέκτες με συγκόλληση, ή απ' ευθείας στο περίβλημα ή πάνω σε λαιμό που έχει διαμορφωθεί γύρω από κάθε υποδοχή του συλλέκτη. Γενικά, οι συλλέκτες πέρα από την «υποδοχή» των σωλήνων, ενεργούν και ως εξισωτές των θερμοκρασιών και πιέσεων του ατμού, που παρέχεται από κάθε σωλήνα ξεχωριστά.

Οι συλλέκτες εισόδου-εξόδου διαφέρουν μεταξύ τους. Ο ατμός οδηγείται στους συλλέκτες εισόδου με τους συνδέσμους-σωλήνες από την προηγούμενη βαθμίδα. Βασικό ρόλο παίζει η ομοιόμορφη κατανομή ατμού στο συλλέκτη εισόδου, η οποία εξαρτάται από τον τρόπο σύνδεσης των σωλήνων προσαγωγής.

Τα τμήματα των υπερθερμαντήρων τα οποία αποτελούνται από δέσμες σωλήνων, διατάσσονται είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα. Τα οριζόντια τμήματα, τοποθετούνται συνήθως, παράλληλα προς τα πλευρικά ή το μετωπικό τοίχωμα, ενώ τα κατακόρυφα τμήματα, αναρτώνται συνήθως στο τμήμα του οχετού καυσαερίου, μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης διαδρομής.

4.3 ΟΙΚΟΝΟΜΗΤΗΡΑΣ.

Ο οικονομητήρας, έχει ως σκοπό την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού πριν αυτό οδηγηθεί στο σύστημα ατμοποίησης, με την εκμετάλλευση της θερμότητας των

καυσαερίων που ήδη έχουν περάσει από τις επιφάνειες ατμοποίησης, υπερθέρμανσης και αναθέρμανσης του ατμού. Οι οικονομητήρες σύγχρονων ατμολεβήτων αποτελούνται από τους συλλέκτες εισόδου-εξόδου και από σερπαντίνες χαλυβδοσωλήνων χωρίς ραφή, γυμνών ή με πτερύγια για καλύτερη συναλλαγή θερμότητας.

α) Σύστημα φυσικής και τεχνητής κυκλοφορίας

Σε ατμολέβητες πολύ υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οικονομητήρες και σερπαντίνες. Όταν οι επιφάνειες του οικονομητήρα βρίσκονται μέσα σε περιοχή καυσαερίων θερμοκρασίας πάνω από 450°C, πρέπει η ανάρτησή τους να γίνεται σε ψυχόμενα στηρίγματα. Σε ατμολέβητες φυσικής κυκλοφορίας, συμβαίνει μερικές φορές, η ρυθμιστική βαλβίδα παροχής τροφοδοτικού νερού, σε περίπτωση μεταβολής της πίεσης ή της στάθμης του ατμού μέσα στο τύμπανο να περιορίσει σημαντικά την παροχή τροφοδοτικού νερού ή και να την μηδενίσει, οπότε, αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο σχηματισμού φυσαλίδων ατμού, μέσα στους σωλήνες του οικονομητήρα. Για το λόγο αυτό, συνιστάται κυρίως στο τελευταίο τμήμα του οικονομητήρα, η ροή του νερού να γίνεται από κάτω προς τα πάνω.

Σε κατακόρυφους σωλήνες ανάρτησης, που ψύχονται με νερό, πρέπει να αποφεύγεται ροή μέσα σ' αυτούς από πάνω προς τα κάτω, γιατί σε μια τέτοια διάταξη σε μεμονωμένους σωλήνες που δέχονται υψηλότερη θερμική φόρτιση, υπάρχει κίνδυνος να διακοπεί η ροή στα χαμηλά φορτία. Η στατική διαφορά πίεσης, εξαιτίας της μικρής πυκνότητας στους εντονότερα θερμαινόμενους σωλήνες, μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από την αντίσταση τριβής ώστε να διακόπτεται η ροή στα χαμηλά φορτία ή σε παρατεταμένη διακοπή του τροφοδοτικού νερού.

β) Σύστημα εξαναγκασμένης ροής

Οι θερμαινόμενες επιφάνειες του οικονομητήρα αποτελούνται από σερπαντίνες και κατασκευάζονται με τις ίδιες αρχές, όπως και οι οικονομητήρες ατμολεβήτων φυσικής κυκλοφορίας.

Σε ροή που κατευθύνεται προς τα πάνω, αρκεί μια ταχύτητα ψυχρού νερού 0,5 m/s στο πλήρες φορτίο. Σε ροή που κατευθύνεται προς τα κάτω, αρκεί μια αντίστοιχη ταχύτητα 1,5m/s εφόσον δεν υπάρχει δυνατότητα να οδηγηθούν οι σωλήνες του οικονομητήρα χωρίς συλλέκτη αλλαγής κατεύθυνσης ως σωλήνες ανάρτησης πάλι προς τα άνω.

Σε διαφορετική θέρμανση των μεμονωμένων παράλληλων ομάδων σωλήνων, οι σωλήνες που θερμαίνονται περισσότερο, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ροή όταν η φορά της είναι προς τα πάνω και μικρότερη ροή όταν είναι προς τα κάτω.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει προθερμαντήρας αέρα και η θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού εισαγωγής είναι σημαντικά χαμηλή, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα προστασίας των σωλήνων, από την επίδραση διαβρωτικών ενώσεων, που παρουσιάζονται στα καυσαέρια όταν αυτά ψυχθούν σε χαμηλή θερμοκρασία. Εάν δεν είναι δυνατή η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων με μείωση της επιφάνειας συναλλαγής, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί υλικό ανθεκτικό π.χ. χυτοσίδηροι σωλήνες, πτερυγοφόροι ή μη.

4.4 ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑΣ ΑΤΜΟΥ

Ο αναθερμαντήρας ατμού, είναι μια επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, μορφολογικά ίδια με τον υπερθερμαντήρα, που χρησιμοποιείται για την αναθέρμανση του ατμού μετά από μία μερική του αποτόνωση στο τμήμα υψηλής πίεσης του αμοστροβίλου. Στον αναθερμαντήρα, ο ατμός αυτός υπό σταθερή πρακτικά πίεση, παραλαμβάνει θερμότητα και αυξάνει την θερμοκρασία του, μέχρι συνήθως, τη θερμοκρασία εξόδου του ατμού από τον υπερθερμαντήρα, οπότε οδηγείται στο επόμενο τμήμα του στροβίλου για παραπέρα αποτόνωση (ανάθερμος ατμός). Με τον τρόπο αυτό, έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνεται αισθητά ο γενικός βαθμός απόδοσης ολόκληρης της ατμοηλεκτρικής μονάδας.

Επειδή οι θερμοκρασίες με τις οποίες λειτουργεί ο αναθερμαντήρας είναι περίπου ίδιες με τις αντίστοιχες του υπερθερμαντήρα ατμού, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του τα υλικά που χρησιμοποιούνται και στην κατασκευή του υπερθερμαντήρα. Όπως στον υπερθερμαντήρα, έτσι και εδώ, επιδιώκεται η διατήρηση σταθερής της θερμοκρασίας του ανάθερμου ατμού για όλα τα φορτία του ατμολέβητα.

Σε λειτουργία με σταθερή πίεση εξόδου υπέρθερμου, όταν μειώνεται το φορτίο του ατμολέβητα, μειώνεται και η θερμοκρασία εισόδου του ανάθερμου ατμού. Όσο για την θερμοκρασία εξόδου του ανάθερμου, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του φορτίου του ατμολέβητα, ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για τον υπερθερμαντήρα ατμού, ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η συναλλαγή θερμότητας στον αναθερμαντήρα (ακτινοβολία ή επαφή-μεταφορά).

Σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη πίεση εξόδου του υπέρθερμου ατμού, όπου οι βαλβίδες ατμού υψηλής πίεσης είναι πλήρως ανοιχτές, η θερμοκρασία εισόδου του ανάθερμου παραμένει σχεδόν σταθερή, ανεξάρτητη από τη μεταβολή του φορτίου του ατμολέβητα. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, η προσπάθεια διατήρησης σταθερής της θερμοκρασίας εξόδου του ανάθερμου, είναι απλούστερη.

Σε υπερκριτικές εγκαταστάσεις ατμολεβήτων, προβλέπεται συνήθως μια διπλή αναθέρμανση του ατμού, με σκοπό τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης της όλης εγκατάστασης. Σε ένα τέτοιο ατμολέβητα, πρέπει να κατασκευασθούν μεγάλα τμήματα του αναθερμαντήρα ως σωληνοτοιχώματα του θαλάμου καύσης, γιατί το ποσοστό των θερμαινόμενων επιφανειών ατμοποίησης εδώ είναι σημαντικά μειωμένο.

Η επιτρεπόμενη πτώση πίεσης στον αναθερμαντήρα είναι περίπου 10% της πίεσης λειτουργίας, η μέση περίπου πτώση πίεσης, δημιουργείται στις σωληνώσεις προσαγωγής-απαγωγής, συλλέκτες κλπ. και η άλλη μέση στις θερμαινόμενες επιφάνειες. Η θερμοκρασία αυξάνεται συνήθως, μέχρι την αρχική τιμή.

Η ροή μάζας του ατμού στον αναθερμαντήρα, είναι συνήθως το 90% της εισερχόμενης στο στρόβιλο ποσότητας, δεδομένου ότι, από τον ψυχρό αγωγό του ανάθερμου, γίνεται η απομάστευση ατμού για τον προθερμαντήρα νερού υψηλής

πίεσης, για τις στροβιλοαντλίες του τροφοδοτικού νερού, για προθέρμανση καυσίμου, εκκαπνιστών κλπ.

5. ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

Τα βοηθητικά τμήματα ενός ατμολέβητα είναι όλα τα μηχανήματα ή γενικά μέρη της εγκατάστασης που είναι απαραίτητα για την ασφαλή και οικονομική λειτουργία του ατμολέβητα και την επιτέλεση του που είναι ο μετασχηματισμός του τροφοδοτικού νερού σε ατμό ορισμένης ποιότητας.

Έτσι στα βοηθητικά τμήματα συγκαταλέγονται οι ανεμιστήρες, το σύστημα μεταφοράς και επεξεργασίας του καυσίμου, το σύστημα επεξεργασίας του τροφοδοτικού νερού, το σύστημα απαγωγής της τέφρας, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα καθαρισμού του καυσαερίου πριν την απόρριψή του στο περιβάλλον και ακόμα οι προθερμαντήρες του αέρα καύσης κ.ά.

5.1 ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ

Η χρησιμοποίηση προθερμαντών αέρα καύσης έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει κατά πολλούς τρόπους την εγκατάσταση του ατμολέβητα και από άποψη λειτουργικότητάς του και από άποψη οικονομίας.

Η προθέρμανση του αέρα επιτυγχάνεται συνήθως με την εκμετάλλευση θερμότητας των καυσαερίων, μετά από τη διέλευσή τους από τις επιφάνειες συναλλαγής του ατμολέβητα. Δηλαδή, γίνεται χρήση θερμότητας κακής (χαμηλής) ποιότητας, που διαφορετικά, κατά ένα μεγάλο τουλάχιστον μέρος, θα χανόταν στο περιβάλλον. Η θερμότητα αυτή ανεβάζει τη θερμοκρασία του αέρα, πριν από την είσοδό του στην εστία, με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται η αντίστοιχη ποσότητα καυσίμου, που διαφορετικά θα χρειαζόταν για την επίτευξη μιας ορισμένης θερμοκρασίας καύσης. Έτσι, βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσης του ατμολέβητα. Είναι προφανές ότι, όσο μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού απαιτούμενου αέρα προθερμαίνεται και όσο μεγαλύτερη είναι η στάθμη προθερμάνσεώς του, τόσο η βελτίωση του βαθμού απόδοσης του ατμολέβητα είναι μεγαλύτερη. Σε περιπτώσεις καύσης με υπερπίεση

στην εστία, μπορεί να προθερμανθεί ολόκληρη η ποσότητα του απαιτούμενου για την καύση αέρα.

Μεγαλύτερη ακόμα σημασία έχει η εφαρμογή της προθέρμανσης του αέρα για την ομαλή και αποδοτική καύση, κυρίως δύσκολων καυσίμων όπως είναι τα καύσιμα με μεγάλη υγρασία. Αυτό συμβαίνει γιατί, καθώς γίνεται η καύση σε υψηλότερη θερμοκρασιακή στάθμη, αποκτά μεγαλύτερη ταχύτητα ως χημική αντίδραση, με αποτέλεσμα να μπορούν έτσι να καούν αποδοτικά καύσιμα που έχουν δυσκολίες εξαιτίας της σύστασής τους.

Η μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων και συνεπώς η αύξηση του βαθμού απόδοσης του ατμολέβητα που εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση ενός προθερμαντήρα αέρα, περιορίζεται από το σημείο δρόσου των καυσαερίων. Η θερμοκρασία του υλικού του προθερμαντήρα στην περιοχή εισόδου του αέρα, δεν πρέπει να κατεβεί κάτω από το σημείο δρόσου, γιατί τότε, παρατηρείται σοβαρή διάβρωση και ρύπανση της περιοχής αυτής του προθερμαντήρα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, τόσο υψηλότερο είναι το σημείο δρόσου των καυσαερίων και συνεπώς τόσο μικρότερη η επιτρεπόμενη ψύξη τους μέσω του προθερμαντήρα αέρα. Η διάβρωση που αναφέρθηκε, προέρχεται από τη δράση του θειικού οξέος που σχηματίζεται από το SO_3 που υπάρχει στο καυσαέριο και τον υδρατμό, που επίσης είναι προϊόν καύσης. Ο σχηματισμός του SO_3 από το SO_2 που παράγεται κατά την καύση, εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία καύσης, την περίσσεια αέρα, την περιεκτικότητα του καυσίμου σε S και τη σύσταση της τέφρας. Η πείρα έδειξε ότι αν ο ατμολέβητας λειτουργεί με μικρή περίσσεια αέρα, τότε μειώνεται σημαντικά το σημείο δρόσου, οπότε γίνεται δυνατή η επίτευξη χαμηλής θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων.

Στον καθορισμό της χαμηλότερης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η θερμοκρασία αυτή μειώνεται στα μερικά φορτία. Μόνο σε ατμολέβητες με ρύθμιση θερμοκρασίας ανάθερμου μέσω ρυθμιστικής διαδρομής καυσαερίων, ή με ανακυκλοφορία καυσαερίων, παραμένει περίπου σταθερή η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων για όλα τα φορτία. Το πόσο μπορεί κανείς, ακίνδυνα για τον προθερμαντήρα αέρα, να πλησιάσει το σημείο δρόσου, εξαρτάται από το είδος του προθερμαντήρα που θα εκλέξει.

Συνιστάται πάντα σε περιπτώσεις υγρών καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε S, να τοποθετείται πριν από τον προθερμαντήρα αέρα με καυσαέρια, ένας προθερμαντήρας αέρα με ατμό, ο οποίος προθερμαίνει τον αέρα του περιβάλλοντος μέχρι μια τέτοια στάθμη, ώστε να μη δημιουργείται κίνδυνος διάβρωσης του προθερμαντήρα καυσαερίων στην περιοχή εισόδου του αέρα. Το ίδιο επιτυγχάνεται με την κατάθλιψη ενός μέρους του θερμού αέρα, στην αναρρόφηση του κύριου ανεμιστήρα αέρα καύσης. Το τελευταίο όμως σημαίνει αύξηση της κατανάλωσης του ισχύος του ανεμιστήρα.

Εκτός από ατμό ως θερμαντικό μέσο, χρησιμεύει επίσης και θερμό νερό. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυκλικό ή οβάλ σωλήνες, οι οποίοι από την πλευρά του αέρα φέρουν πτερύγια από λεπτή λαμαρίνα σε απόσταση 4-6 mm μεταξύ τους. Οι σωλήνες αυτοί είναι γαλβανισμένοι, έτσι δεν επιτυγχάνεται η αγωγιμότητα μεταξύ πτερυγίου και σωλήνα και ακόμα μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση. Έχουν το

μεγάλο προτέρημα της ξεχωριστής διαδρομής καυσαερίου και αέρα, αλλά απαιτούν μεγάλο χώρο για την τοποθέτηση 2,5 φορές περισσότερο χώρο και διπλό περίπου κόστος, σε σχέση με περιστρεφόμενο προθερμαντήρα.



Εικόνα 4.22: Προθερμαντήρας αέρας καύσης.

5.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΤΙΔΙΩΝ – ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Κατά την καύση στερεών ή υγρών καυσίμων, στην έξοδο της εστίας, εγκαταλείπουν το θάλαμο καύσεων μαζί με το καυσαέριο, ιπτάμενη τέφρα και άκαυστο κοκ. Το μέγεθος των κόκκων της ιπτάμενης σκόνης, εξαρτάται από το είδος της εστίας, το είδος καυσίμου και το σύστημα κονιοποίησης. Για τον περιορισμό των εκπομπών σκόνης, χρησιμοποιούνται σήμερα συστήματα φυγοκεντρικών, ηλεκτροστατικών διαχωριστών και διαχωριστές φίλτρων.

Οι απαιτήσεις που τίθενται στο βαθμό διαχωρισμού του κάθε συστήματος εξαρτώνται από τις ιδιότητες του καυσίμου και της τέφρας του, όπως επίσης από την εστία και τις συνθήκες καύσης που επικρατούν σ' αυτήν. Με φυγοκεντρικούς διαχωριστές επιτυγχάνεται μεγάλος βαθμός διαχωρισμού, όταν οι κόκκοι των στερεών είναι σχετικά μικρής διαμέτρου.

Για την απομάκρυνση της σκόνης από τα καυσαέρια, χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ατμολεβήτων στερεού ή υγρού καυσίμου, ηλεκτροστατικά φίλτρα. Τελευταία άρχισε και η χρησιμοποίηση διαχωριστών φίλτρου, όταν είναι απαραίτητη η ελάχιστη δυνατή παρουσία σκόνης στο καθαρό πλέον καυσαέριο. Η χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων για τον αποχωρισμό αυτό εφαρμόζεται από πολλές δεκαετίες και είναι σήμερα η πιο διαδεδομένη, γιατί επιτρέπει την επίτευξη των απαιτούμενων βαθμών καθαρότητας καυσαερίων, που ορίζουν οι σύγχρονες προδιαγραφές πολλών βιομηχανικών χωρών. Πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μικρή κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλό κόστος συντήρησης.

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα που εργάζονται σε συνεχή τάση 30-60KV και φτάνουν μέχρι 100 KV, αποτελούνται από τις λεγόμενες «οδούς διαχωρισμού κόνεως». Οι οδοί αυτές, σχηματίζονται από τα ηλεκτρόδια αποχωρισμού με μορφή λαμαρινοειδών τοιχωμάτων και τα ηλεκτρόδια φόρτισης με μορφή συρμάτων. Τα

πρώτα είναι ηλεκτρικά γειωμένα, ενώ τα δεύτερα συνδέονται με μία πηγή υψηλής τάσης. Μεταξύ των ηλεκτροδίων αυτών δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Καθώς περνούν τα καυσαέρια μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο, ιονίζονται και τα φωτιζόμενα στερεά σωματίδια της σκόνης, οδεύουν προς τα ηλεκτρόδια αποχωρισμού. Στα τελευταία επιβάλλεται περιοδικά δόνηση και με τον τρόπο αυτό αποχωρίζεται η συγκεντρωμένη σ' αυτά σκόνη η οποία και συλλέγεται.

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα χρησιμοποιούνται κατά κανόνα στους ατμολέβητες στερεών καυσίμων. Τα καυσαέρια των ατμολεβήτων υγρών καυσίμων παρουσιάζουν μια περιεκτικότητα σε σκόνη 20 έως 100 mg/m³. Η περιεκτικότητα αυτή αυξάνεται σημαντικά, αν η ρύθμιση της καύσης δεν είναι καλή. Αυξάνεται επίσης σημαντικά τη στιγμή που διεξάγεται ο εκκαπνισμός του ατμολέβητα. Στη Δυτική Γερμανία δεν επιτρέπεται η περιεκτικότητα των καυσαερίων που απελευθερώνονται προς την ατμόσφαιρα να ξεπερνά τα 50 mg/m³ σ' όλες τις φάσεις λειτουργίας του ατμολέβητα. Έτσι στη συγκεκριμένη χώρα επιβάλλεται η χρησιμοποίηση ηλεκτροστατικών φίλτρων και στους ατμολέβητες υγρών καυσίμων.

5.3 ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Οι κυριότεροι ανεμιστήρες ενός ατμολέβητα είναι:

- Ο καταθλιπτικός ανεμιστήρας του αέρα καύσης.
- Ο αναρροφητικός ανεμιστήρας των καυσαερίων που τα αναρροφά από την έξοδο του ατμολέβητα και τα καταθλίβει στην καπνοδόχο, και
- Ο ανεμιστήρας ανακυκλοφορίας των καυσαερίων, που αναρροφά μέρος των καυσαερίων από την έξοδο του ατμολέβητα και τα καταθλίβει στο θάλαμο καύσης. Ο τελευταίος έχει σκοπό, τη ρύθμιση των θερμοκρασιών του ανάθερμου ατμού.

Για τον καθορισμό της παροχής, πρέπει να προσδιορισθούν ως βασικά δυναμικά μεγέθη, οι απώλειες τριβών στους οχετούς και εσωτερικές τους κατασκευές, απώλειες που προκύπτουν από αλλαγές κατεύθυνσης και διακλάδωσης, απώλειες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης της ροής. Τα μεγέθη αυτά μεταβάλλονται τόσο με τη ροή μάζας όσο και τη θερμοκρασία. Ακόμα πρέπει να ληφθούν υπόψη διορθωτικοί συντελεστές ρύπανσης για προθερμαντήρες αέρα με ατμό ή καυσαέριο.

Καταθλιπτικοί ανεμιστήρες κατασκευάζονται επίσης και για καύση με υπερπίεση, οπότε δεν είναι απαραίτητος ο ανεμιστήρας ελκυσμού. Ο καταθλιπτικός ανεμιστήρας αναλαμβάνει την προώθηση των καυσαερίων προς την καπνοδόχο ξεπερνώντας τις απώλειες πίεσης κατά τη διαδρομή των καυσαερίων.

Εγκαταστάσεις ατμολεβήτων που καίνε στερεό καύσιμο, λειτουργούν ως επί το πλείστον με υποπίεση στην εστία, την οποία δημιουργεί ο ανεμιστήρας ελκυσμού.

Από κατασκευαστική σκοπιά, οι ανεμιστήρες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: Τους αξονικούς και τους ακτινικούς. Οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι πιο δαπανηροί από τους ακτινικούς, έχουν όμως καλλίτερη χαρακτηριστική καμπύλη.

Συγκεκριμένα ο βαθμός απόδοσης των ακτινικών ανεμιστήρων, είναι πολύ χαμηλότερος από τον αντίστοιχο των αξονικών ανεμιστήρων στα χαμηλά φορτία. Ακτινικοί ανεμιστήρες τοποθετούνται συνήθως, σε μονάδες μικρής ισχύος, ενώ σε μονάδες μεγαλύτερης ισχύος από 100 MW, συμφέρει η εγκατάσταση αξονικών ανεμιστήρων.

5.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Οι ρυπάνσεις που παρουσιάζονται στις επιφάνειες των ατμολεβήτων, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ρυπάνσεις οι οποίες προήλθαν από τήξη της τέφρας (χημικά ενεργές). Είναι σκληρές και απομακρύνονται με δυσκολία από τις επιφάνειες.
- Ρυπάνσεις που προέρχονται από εναπόθεση τέφρας στις επιφάνειες (χημικά αδρανείς). Η τέφρα διατηρεί τη μορφή της και απομακρύνεται σχετικά εύκολα (εκκαπνιστές).

Κατά την καύση, παρουσιάζονται ρυπάνσεις των επιφανειών οι οποίες μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες για τον ατμολέβητα. Κατ' αρχήν, αυξάνονται οι θερμοκρασίες των καυσαερίων, αφού μεταξύ σωλήνα και καυσαερίου έχει προστεθεί μια θερμική αντίσταση, που επιφέρει μείωση στο βαθμό απόδοσης του ατμολέβητα. Οι αντιστάσεις στη ροή των καυσαερίων αυξάνονται, η ισχύς των ανεμιστήρων ελκυσμού δεν επαρκεί πλέον να διώξει τα καυσαέρια στην καπνοδόχο, με αποτέλεσμα την αναγκαστική μείωση του φορτίου λειτουργίας. Οι ρυπάνσεις αυξάνονται τώρα, πολύ γρήγορα και ο ατμολέβητας πρέπει να διακόψει τη λειτουργία, για καθαρισμό.

Το μέγεθος και η ταχύτητα σχηματισμού της ρύπανσης, εξαρτάται από πολλούς παραμέτρους, όπως:

- Σύνθεση της τέφρας
- Θερμοκρασίας της εστίας
- Συμπεριφορά της τέφρας σε υψηλές θερμοκρασίες
- Κονιοποίηση του καυσίμου
- Πυκνότητα ροής θερμότητας
- Χρησιμοποίηση εκκαπνιστού και η συχνότητα
- Θερμική φόρτιση της περιοχής των καυστήρων
- Είδος καυστήρων και λειτουργία τους
- Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από την εστία

Οι ρυπάνσεις των επιφανειών, είναι επικαθίσεις των μη καιόμενων συστατικών του καυσίμου, οι οποίες στην αρχή συσσωρεύονται στην επιφάνεια και αργότερα με την επίδραση της θερμοκρασίας, τήκονται και σχηματίζουν ένα στερεό κάλυμμα στην επιφάνεια του σωλήνα. Η αρχικά φυσική διεργασία της επικαθίσης, με την επίδραση της θερμοκρασίας οδήγησε σε χημικές αντιδράσεις που καταλήγουν στις απομακρυνόμενες ρυπάνσεις των επιφανειών.

Οι επιφάνειες με τη μεγαλύτερη τάση για ρύπανση, βρίσκονται στην περιοχή της ακτινοβολίας της φλόγας. Στην κορυφή του σωλήνα, σχηματίζονται κωνικές επικαθίσεις, οι οποίες δυσχεραίνουν την συναλλαγή θερμότητας, με αποτέλεσμα να αυξάνει η θερμοκρασία της κωνικής επιφάνειας, να επέρχεται μαλάκυνση και τήξη της τέφρας, με αύξηση της θερμοκρασίας του τοιχώματος του σωλήνα. Έτσι στις μαλακές επικαθίσεις, προστίθενται περισσότερα σωματίδια τέφρας, η επικαθίση αυξάνει και καλύπτει μεγάλες επιφάνειες συναλλαγής.

6.ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΛΕΒΗΤΑ

6.1 Ο ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Αυτός αφορά την εσωτερική επιφάνεια του υδροθαλάμου και είναι σημαντικότερος. Σκοπό έχει την απαλλαγή του λέβητα από τις καθαλατώσεις και τις υπόλοιπες πάνω σ' αυτές εναποθέσεις.

Γίνεται κατά διαστήματα, τα οποία εξαρτώνται από το είδος του νερού και τα μέσα χημικής επεξεργασίας του που χρησιμοποιούνται. Ο εσωτερικός καθαρισμός, συνήθως, πρέπει να γίνεται περιοδικά μετά από χρονικό διάστημα 1800 ως 2000 ωρών λειτουργίας με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται αποσταγμένο νερό και κατάλληλες χημικές συνθέσεις και ανάλογα με τον τύπο του υπό καθαρισμό λέβητα. Οι κανόνες όλων των Νηογνωμόνων προβλέπουν επίσης την εκτέλεση εσωτερικού καθαρισμού και γενική επιθεώρηση του λέβητα κάθε χρόνο.

6.1.1 Η εκτέλεση του εσωτερικού καθαρισμού.

Η απομάκρυνση των καθαλατώσεων σ' αυτούς τους λέβητες γίνεται με σφυροκοπανισμό ή ξέση με ειδικά εργαλεία (σφυριά, ματσακόνια, ψήκτρες συρμάτινες, ξύστρες) σε όλα κατά το δυνατόν προσιτά σημεία του υδροθαλάμου. Πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να μην παραμορφώνεται το υλικό λόγω των κρούσεων. Λίγες ημέρες πριν από τον καθαρισμό εισάγεται μέσα στο νερό αρκετή ποσότητα σόδας, δεδομένου ότι η εργασία αυτή είναι δυσχερής. Αυτή μετατρέπει τη σκληρή καθαλάτωση της θειικής ασβέστου σε μαλακή, η οποία και αποξέεται ευκολότερα. Για το λόγο αυτό συχνά ο καθαρισμός γίνεται ενώ ο λέβητας εκκενώνεται προοδευτικά, ώστε οι νωπές καθαλατώσεις να αποξέονται ευκολότερα και να αποφεύγεται έτσι η χρήση κρουστικών εργαλείων. Μετά τον καθαρισμό οι επιφάνειες πλένονται καλά και στεγνώνονται επιμελώς με ύφασμα.

6.1.2 Ο χημικός καθαρισμός των λέβητων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις εξαιρετικά ρυπαρού λέβητα ο οποίος δεν μπορεί να καθαρισθεί με μηχανικά μέσα ή με βρασμό, εκτός από το συνηθισμένο τρόπο εκτελέσεως μηχανικού εσωτερικού καθαρισμού, εκτελείται ο λεγόμενος **χημικός καθαρισμός**. Ο χημικός καθαρισμός συνίσταται στην πλήρωση του λέβητα με διάλυμα οξέων με τα οποία εξουδετερώνονται οι καθαλατώσεις. Η μέθοδος περικλείνει κινδύνους φθοράς του μετάλλου του λέβητα.

1^ο στάδιο.

Ο λέβητας γεμίζει με τροφοδοτικό νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας και προστίθενται 25 kg αλκαλικό μίγμα ανά τόνο νερού και στη συνέχεια κλείνεται ερμητικά η ανθρωποθυρίδα του ατμοθαλάμου του. Τίθεται σε λειτουργία ο λέβητας μέχρις ότου η πίεση ανέβει περίπου 7 bar σε διάστημα 24 ωρών. Ψύχεται ο λέβητας. Εκκενώνεται από το αλκαλικό διάλυμα και πλένεται τρεις φορές με τροφοδοτικό νερό με ολοκληρωτική πλήρωση- εκκένωση.

2^ο στάδιο.

Γεμίζει ο λέβητας με τροφοδοτικό νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας. Στη συνέχεια εκτελείται αφή πυρών για θέρμανση ως 93°C. Εκκενώνεται ο λέβητας μέχρι τη στάθμη χαμηλής λειτουργίας και προστίθεται κατά διαστήματα από τον ατμοφράκτη με ελαστικό σωλήνα υδροχλωρικό οξύ με ανασταλτικό διαβρώσεως.

Κατά τη διάρκεια εισαγωγής του οξέος παρατηρείται έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) με τάση υπερχείλισης του λέβητα. Η προσθήκη του οξέος εξαρτάται από την έκλυση αερίου CO₂, η οποία πάλι εξαρτάται από την ποσότητα των καθαλατώσεων. Η ποσότητα του οξέος που προστίθενται ανέρχεται στο 1/7 ως 1/6 της περιεκτικότητας του λέβητα σε νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας του.

Εάν κατά την πρόοδο της εισαγωγής του οξέος παρατηρηθεί παύση εκλύσεως διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και του αναβρασμού, αυτό είναι δείγμα ότι εξαντλήθηκε ή το οξύ ή τα άλατα, οπότε ρίχνεται νέα μικρή ποσότητα οξέος και αν πάλι δεν εμφανιστεί αναβρασμός, διακόπτεται η εισαγωγή οξέος.

Εάν ο λέβητας είναι εφοδιασμένος με αντλία κυκλοφορίας αυτή χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του διαλύματος από το λέβητα στην αντλία και αντίστροφα κατά διαστήματα μισής ώρας. Εάν δεν υπάρχει αντλία, διοχετεύεται πεπιεσμένος αέρας στο λέβητα από σημεία που βρίσκονται στο κάτω μέρος του, με εναλλαγή των σημείων παροχής κατά διαστήματα μιας ώρας.

Ο παραπάνω χημικός καθαρισμός διαρκεί από 24 έως 30 ώρες. Στη συνέχεια εκκενώνεται το διάλυμα που βρίσκεται μέσα στο λέβητα και πλένεται ο λέβητας 3 ως 4 φορές με πλήρωση και εκκένωση με πόσιμο νερό.

3^ο στάδιο.

Ο λέβητας γεμίζεται με τροφοδοτικό νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας και διοχετεύεται διαμέσου της ανθρωποθυρίδας του ατμοθαλάμου 25% αλκαλικό μίγμα. Μετά από αυτά ο λέβητας μπαίνει σε λειτουργία και διατηρείται πίεση μέχρι 5,5 bar

για χρονικό διάστημα 10 ωρών. Μετά εκκενώνεται , για να πληρωθεί στη συνέχεια με αποσταγμένο νερό και για να προετοιμαστεί για κανονική αφή πυρών. Κατά τον χημικό καθαρισμό πρέπει πάντοτε να παίρνονται όλες οι αναγκαίες προφυλάξεις ώστε το προσωπικό να μην έρχεται σε επαφή με τα χημικά αντιδραστήρια και να γίνεται αερισμός για την απομάκρυνση του εκλυόμενου υδρογόνου, το οποίο είναι ασφυκτικό και εκρηκτικό συγχρόνως.

6.2 Ο ΕΚΚΑΠΝΙΣΜΟΣ

Για την απομάκρυνση της αιθάλης, εκτελείται ο εκκαπνισμός, από όλες τις επιφάνειες του λέβητα οι οποίες έρχονται σε επαφή με τα καυσαέρια και τις φλόγες. Η αιθάλη είναι βλαβερή λόγω του δυσθερμαγωγού της και γιατί παρεμποδίζει τον ελκυσμό. Εκτός από αυτό τεμάχια αιθάλης παρασύρονται από τα καυσαέρια και αφού βγουν από την καπνοδόχο ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα ή μερικές φορές μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά.

6.2.1 Η εκτέλεση του εκκαπνισμού.

Ο εκκαπνισμός εκτελείται με την κίνηση των χεριών. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές συρμάτινες επίπεδες ψήκτρες, σκούπες, μάκτρα και πριόνια. Στους κυλινδρικούς ατμολέβητες ο εκκαπνισμός γίνεται και στο εσωτερικό των αυλών με κυλινδρικές χειροκίνητες ψήκτρες.

Στους ενεργεία λέβητες χρησιμοποιούνται οι μόνιμα προσαρμοσμένες συσκευές εκκαπνισμού με ατμό, οι γνωστές ως **εκκαπνιστήρες** ή **φουσητήρες αιθάλης**, οι οποίες χρησιμοποιούνται και για τον εκκαπνισμό του λέβητα και σε ώρα λειτουργίας του. Η απομάκρυνση των απανθρακωμάτων, τα οποία συγκεντρώνονται στις ρίζες των εσωτερικών αυλών γίνεται με κατάλληλο διαλυτικό. Πρέπει να παίρνονται όλα τα αναγκαία μέτρα για αποφυγή εκρήξεων.

Ο εκκαπνισμός εκτελείται κατά κανονικά διαστήματα σύμφωνα με την πείρα του Μηχανικού, το είδος του καυσίμου και το βαθμό ρυπάνσεως του λέβητα. Από την πείρα πάντως προκύπτει ότι ο εκκαπνισμός του λέβητα σε λειτουργία, με εκκαπνιστήρες εκτελείται κατά διαστήματα από 4 ως 8 ώρες.

7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η βιομηχανία τροφίμων αποτελεί τον κλάδο εκείνο της βιομηχανίας ο οποίος ασχολείται με την επεξεργασία τροφίμων. Πέρα από το οικονομικό όφελος που επιδιώκει, η βιομηχανία τροφίμων έχει ως αποστολή να προσφέρει στον καταναλωτή ποικιλία τροφίμων τα οποία:

α) θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις του ως προς την εμφάνιση, το χρώμα, την υφή, την οσμή και τη γεύση και άλλα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά,

β) θα έχουν την απαιτούμενη θρεπτική αξία και θα καλύπτουν τις ανάγκες του σε θρεπτικά στοιχεία.

γ) θα είναι ασφαλή για την υγεία του και

δ) θα μπορούν να συντηρηθούν για χρονικό διάστημα το οποίο θα επιτρέπει τη διακίνηση, την εμπορία και τη διατήρησή τους μέχρις ότου καταναλωθούν.

Η θερμότητα που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη βιομηχανία τοματοπολτού για τη θέρμανση της τομάτας είναι ο κορεσμένος ατμός. Ο κορεσμένος ατμός αποτελείται από τους υδρατμούς που παράγονται από την εξάτμιση του νερού στη θερμοκρασία βρασμού και αναμφίβολα αποτελεί το πλέον εύχρηστο μέσο θέρμανσης των προϊόντων στη βιομηχανία τροφίμων, επειδή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης και υψηλό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Δεν είναι τοξικός και δεν προσδίδει δυσάρεστες οσμές στο τρόφιμο. Μπορεί να υψώσει τη θερμοκρασία του τροφίμου μέχρι τους 200°C, χωρίς να επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού για την αντοχή του στις υψηλές πιέσεις. Με τη χρήση του μπορεί εύκολα να ρυθμιστεί η θερμοκρασία του τροφίμου, ενώ η θέρμανση των τροφίμων που επιτυγχάνεται με τον κορεσμένο ατμό είναι ομοιόμορφη. Παρακάτω γίνονται οι υπολογισμοί ενός ατμολέβητα κορεσμένου ατμού που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του τοματοπολτού.

Δεδομένα

- Κορεσμένος ατμός πίεσεως 10 atü
- Παροχή ατμού $D=8\text{t/h}$
- Το 30% του ατμού καταναλώνεται
- Καύσιμο Diesel
- $K=13\%$ CO_2 και μετράται από ειδικό αναλυτή κατά την έξοδο των καπναερίων από τον λέβητα
- $\rho=1,5\%$ CO και μετράται από ειδικό αναλυτή κατά την έξοδο των καπναερίων από τον λέβητα
- Μέση ειδική θερμότητα καπναερίων, $c_{pm} = 0,34 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$
- Θερμοκρασία αέρα στην καπνοδόχο, $T_R=220^\circ\text{C}$
- Θερμότητα $q_{\text{CO}}=3040 \text{ Kcal/Nm}^3$
- Ύψος καπνοδόχου, $h_0=22 \text{ m}$
- Πτώση θερμοκρασίας καθ' ύψος, $\Delta T=1,5^\circ\text{C/m}$
- Μεταλλική καπνοδόχος, διάμετρος κορυφής ίση με διάμετρο βάσης
- Εξωτερική διάμετρος του κυλινδρικού τοιχώματος, $D=2400 \text{ mm}$
- Συντελεστής ασφαλείας για δοχεία πίεσεως με εσωτερική πίεση, $S=1,5$
- Συντελεστής εξασθενήσεως λόγω συγκολλήσεως, $u=0,7$
- Η προσαύξηση του πάχους του ελάσματος για την αντιμετώπιση της διάβρωσης του ελάσματος λόγω οξειδώσεων, $C=1,0 \text{ mm}$
- Ύψος λέβητα, $h_1=2,5 \text{ m}$
- Ύψος δεξαμενής, $h_2=2,0 \text{ m}$
- Απώλειες πίεσης, $P_a=2 \text{ bar}$
- Πίεση δεξαμενής, $P_2=0 \text{ atü}$

1. Στοιχειομετρική σύσταση καυσίμου

Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι πετρέλαιο θέρμανσης (Diesel). Η στοιχειομετρική του σύσταση μεταβάλλεται ανάλογα με την προέλευση του αργού πετρελαίου και τις προδιαγραφές λειτουργίας των διυλιστηρίων. Εδώ η σύσταση του παραγόμενου πετρελαίου από Ελληνικά διυλιστήρια είναι:

- Άνθρακας: $c = 84,3\%$

-Υδρογόνο: $h = 13,85\%$

-Οξυγόνο : $o = 0\%$

-Αζωτο : $n = 0\%$

-Θείο : $s = 1\%$

-Τέφρα : $A = 0,85\%$

-Υγρασία : $w = 0\%$

Σύνολο = 100%

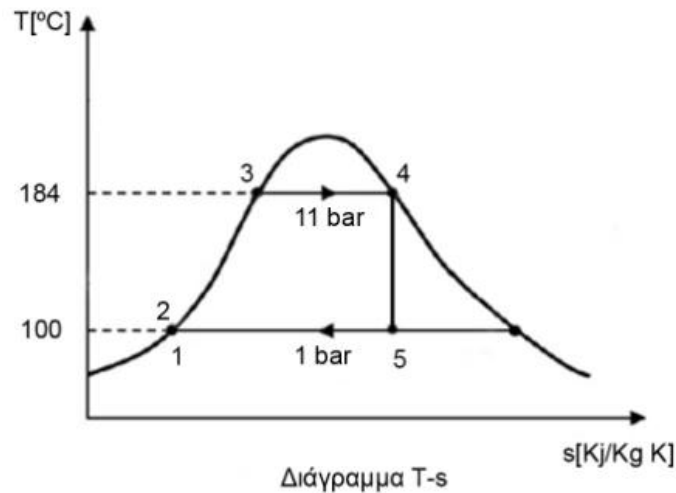
2. Θερμογόνος δύναμη καυσίμου

Η κατωτέρα θερμογόνος δύναμη ($H_{u,1}$) υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο που ισχύει για υγρά και στερεά καύσιμα:

$$\begin{aligned} H_{u,1} &= 8130 \cdot c + 24300 \cdot h + 1500 \cdot n + 4560 \cdot s - 2350 \cdot o - 600 \cdot w \\ &= 8130 \cdot 0,843 + 24300 \cdot 0,1385 + 1500 \cdot 0 + 4560 \cdot 0,01 - 2350 \cdot 0 - 600 \cdot 0 \\ &= 10.265 \text{ Kcal/Kg} \end{aligned} \quad (7.1)$$

3.Θερμοδυναμικός κύκλος Rankine

Ο κύκλος Rankine σχεδιάζεται σε διάγραμμα T-s και τα σημεία 1 έως 5 τοποθετούνται όπως δείχνει το σχήμα 1. Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή κάθε χαρακτηριστικού σημείου του διαγράμματος:



Σχήμα 7.1: Κύκλος Rankine.

- Σημείο 1,2: Η θέση του σημείου αυτού υποδηλώνει την κατάσταση του νερού στην αναρρόφηση της αντλίας. Το νερό εδώ έχει προκύψει από συμπύκνωση του ατμού στον συμπυκνωτή και έχει πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας του συμπυκνωτή. Στο διάγραμμα βρίσκεται πάνω στην κωδωνοειδή καμπύλη και χαρακτηρίζεται ως κορεσμένο νερό. Ο ατμός που καταναλώνεται θεωρείται ότι γίνεται συμπύκνωμα και επιστρέφει στον λέβητα υπό ατμοσφαιρική πίεση 1 bar και θερμοκρασία 100°C.
- Σημείο 3: Η αντλία του τροφοδοτικού νερού ανεβάζει την πίεση του νερού στα 11bar. Η θέση του σημείου 3 είναι εντός του ατμολέβητα και συγκεκριμένα στο νερό του τυμπάνου. Η θερμοκρασία του νερού έχει αυξηθεί στους 184°C λόγω της καύσης. Στο διάγραμμα βρίσκεται πάνω στην κωδωνοειδή καμπύλη και χαρακτηρίζεται ως κορεσμένο νερό.
- Σημείο 4: Η θέση αυτού του σημείου είναι επίσης εντός του λέβητα, συγκεκριμένα στον ατμό του τυμπάνου. Ο ατμός προήλθε από εξάτμιση του νερού, η οποία γίνεται υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Μέσα στο τύμπανο συνυπάρχει νερό και ατμός, με ίδια πίεση και θερμοκρασία, αλλά λόγω βαρύτητας το νερό διαχωρίζεται και μένει κάτω, ενώ ο ατμός μένει πάνω από το νερό. Η θερμοκρασία και η πίεση του ατμού του σημείου αυτού είναι ίδια με του σημείου 3, γι' αυτό η μεταβολή από 3 σε 4 είναι μια οριζόντια γραμμή. Λόγω της παροχής θερμότητας στον ατμολέβητα γίνεται αύξηση της ενθαλπίας, του ειδικού όγκου και της εντροπίας. Το σημείο 4 χαρακτηρίζεται ως κορεσμένος ατμός και βρίσκεται πάνω στον δεξιό κλάδο της κωδωνοειδούς καμπύλης.
- Σημείο 5: Η θέση του σημείου 5 είναι στην έξοδο ιδανικού ατμοστροβίλου, εάν αυτός λειτουργεί με κορεσμένο ατμό και με την κατάσταση που έχει στο σημείο 4. Η πτώση της πίεσης στην περίπτωση ιδανικού ατμοστροβίλου γίνεται ισεντροπικά, δηλαδή η μεταβολή από 4 σε 5 είναι μια κατακόρυφη γραμμή. Το σημείο αυτό βρίσκεται πάντα μέσα στην κωδωνοειδή καμπύλη και ο ατμός χαρακτηρίζεται ως υγρός ατμός.

4. Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό αποδόσεως του λέβητα.

Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα θα υπολογιστεί εκτιμώντας τις θερμικές απώλειες αυτού, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- Απώλειες θερμών καπναερίων (X_A).
- Απώλειες από ατελή καύση (X_B).
- Απώλειες από αγωγιμότητα και από ακτινοβολία θερμών επιφανειών στο περιβάλλον του λέβητα (X_C).
- Απώλειες από εκβορβόρωση (στρατσώνα).
- Απώλειες από σχηματισμό αιθάλης. Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις με καλή λειτουργία καυστήρων, συνήθως δεν εμφανίζεται αιθάλη.

Κατά την περίπτωση καύσης στερεών καυσίμων υπάρχουν επιπλέον και οι παρακάτω απώλειες, οι οποίες δεν συμβαίνουν στον λέβητα που εξετάζεται, γιατί αυτός καίει υγρό καύσιμο, δηλαδή:

- Απώλειες από την αποβαλλόμενη θερμή τέφρα και σκωρίες (αυτές οι απώλειες είναι πολύ σημαντικές, κυρίως, όταν γίνεται απομάκρυνση της τέφρας σε ρευστή κατάσταση).
- Απώλειες καυσίμου που καταπίπτει διαμέσου των διακένων της εσχάρας (εφόσον υπάρχει εσχάρα).
- Απώλειες από ιπτάμενο κώκ. Αυτό είναι πτητικός οπτάνθρακας, δηλαδή κόκκοι καυσίμου που απαερίωθηκαν (έχασαν τα πτητικά τους αέρια) στην εστία, αλλά δεν έγινε καύση του άνθρακα, ο οποίος εναποτίθεται εντός του λέβητα ή διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.
- Απώλειες από καύσιμη ουσία που περιέχεται στην τέφρα. Κατά την απομάκρυνση της τέφρας και των σκωριών παρασύρεται μικρό μέρος καυσίμου ουσίας που δεν έχει καεί.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω απωλειών πρέπει πρώτα να μελετηθεί η καύση του πετρελαίου θέρμανσης (Diesel).

5. Ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης

Η ελάχιστη ποσότητα του αέρα καύσης (L_o) υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$L_o = 8,89 \cdot c + 26,7 \cdot \left(h - \frac{o}{8}\right) + 3,33 \cdot s = 8,89 \cdot 0,843 + 26,7 \cdot \left(0,1385 - \frac{0}{8}\right) + 3,33 \cdot 0,01 = 11,22 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \quad (7.2)$$

6. Ποσότητα ξηρών καπναερίων

Η ποσότητα ξηρών καπναερίων (V_{tr}) είναι αυτή χωρίς την υγρασία υπό μορφή υδρατμών, και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$V_{tr} = 8,89 \cdot c + 21,1 \cdot \left(h - \frac{o}{8}\right) + 3,33 \cdot s + 0,796 \cdot n = 8,89 \cdot 0,843 + 21,1 \cdot \left(0,1385 - \frac{0}{8}\right) + 3,33 \cdot 0,01 + 0,796 \cdot 0 = 10,45 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \quad (7.3)$$

7. Ποσότητα υγρών καπναερίων

Η ποσότητα υγρών καπναερίων (V_o) είναι αυτή μαζί με την υγρασία υπό μορφή υδρατμών και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\begin{aligned} V_o &= 8,89 \cdot c + 32,29 \cdot h - 21,1 \cdot \frac{o}{8} + 3,33 \cdot s + 0,796 \cdot n + 1,244 \cdot w = \\ &= 8,89 \cdot 0,843 + 32,29 \cdot 0,1385 - 21,1 \cdot \frac{0}{8} + 3,33 \cdot 0,01 + 0,796 \cdot 0 + 1,244 \cdot 0 = \\ &= 12,00 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \end{aligned} \quad (7.4)$$

8. Μέγιστη περιεκτικότητα των καπναερίων σε CO₂

Η μέγιστη περιεκτικότητα των καπναερίων σε CO₂ (K_{max}) υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$K_{max} = \frac{1,867 \cdot c}{V_{tr}} = \frac{1,867 \cdot 0,843}{10,45 \text{ Nm}^3/\text{Kg}} = 0,151 \Rightarrow K_{max} = 15,1\% \quad (7.5)$$

9. Περίσσεια αέρα καύσης

Η περίσσεια του αέρα καύσης (λ) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο, με βάση την πραγματική περιεκτικότητα K των καπναερίων σε CO₂:

$$\lambda = 1 + \left(\frac{K_{max}}{K} - 1 \right) \cdot \frac{V_{tr}}{L_o} = 1 + \left(\frac{15,1}{13} - 1 \right) \cdot \frac{10,45 \text{ Nm}^3/\text{Kg}}{11,22 \text{ Nm}^3/\text{Kg}} = 1,15 \quad (7.6)$$

όπου, $K=13\%$ CO₂ και μετράται από ειδικό αναλυτή κατά την έξοδο των καπναερίων από τον λέβητα.

Στο παραπάνω τύπο παρατηρείται ότι τα μεγέθη K_{max} , V_{tr} και L_o είναι σταθερές ποσότητες για κάθε συγκεκριμένο καύσιμο. Άρα, υπάρχει άμεση εξάρτηση της περιέσσειας του αέρα λ και του ποσοστού K του περιεχόμενου CO₂ στα καπναέρια. Αυτός είναι ο λόγος που η ένδειξη K της συσκευής μέτρησης του CO₂ χρησιμοποιείται για την σωστή ρύθμιση της ποσότητας του παρεχόμενου αέρα στους καυστήρες του ατμολέβητα.

10. Ποσότητα πραγματικών ξηρών καπναερίων (με περίσσεια αέρα)

Η ποσότητα των πραγματικών ξηρών καπναερίων με την περίσσεια του αέρα καύσης ($V_{R,tr}$) υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$V_{R,tr} = V_{tr} + (\lambda - 1) \cdot L_o = V_{tr} \cdot \frac{K_{max}}{K} = 10,45 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \cdot \frac{15,1}{13} = 12,14 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \quad (7.7)$$

11. Ποσότητα πραγματικών υγρών καπναερίων (με περίσσεια αέρα)

Η ποσότητα των πραγματικών υγρών καπναερίων με την περίσσεια του αέρα καύσης (V_R) υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$V_R = V_o + (\lambda - 1) \cdot L_o = 12,00 \text{ Nm}^3/\text{Kg} + (1,15 - 1) \cdot 11,22 \text{ Nm}^3/\text{Kg} = 13,68 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \quad (7.8)$$

12. Απώλειες θερμών καπναερίων (X_A)

Ο αέρας που εισέρχεται στην εστία του λέβητα για την καύση λαμβάνεται από το περιβάλλον με θερμοκρασία T_I και αφού θερμανθεί στον λέβητα απορρίπτεται στην καπνοδόχο με θερμοκρασία T_R που ισούται με 220°C . Σε αυτό το γεγονός οφείλονται οι απώλειες των θερμών καπναερίων και υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$X_A = c_{pm} \cdot V_R \cdot (T_R - T_I) = 0,34 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot 13,68 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \cdot (220 - 20)^\circ\text{C} = 930 \text{ Kcal/Kg} \quad (7.9)$$

όπου c_{pm} = μέση ειδική θερμότητα καπναερίων = $0,34 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

13. Απώλειες από ατελή καύση (X_B)

Ένα μέρος από τον άνθρακα c του καυσίμου ενώθηκε προς CO , το οποίο απορρίπτεται στην καπνοδόχο χωρίς να καεί. Στο γεγονός αυτό οφείλονται οι απώλειες από ατελή καύση. Εάν αυτό είχε καεί προς CO_2 θα έδινε θερμότητα $q_{\text{CO}} = 3040 \text{ Kcal/Nm}^3$, δηλαδή η απώλεια θερμότητας που έχουμε υπολογίζεται από τον τύπο:

$$X_B = p \cdot q_{\text{CO}} \cdot V_{R, \text{tr}} = \frac{1,5}{100} \cdot 3040 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot 12,14 \text{ Nm}^3/\text{Kg} = 554 \text{ Kcal/Kg} \quad (7.10)$$

όπου $p = 1,5\%$ CO και μετράται από ειδικό αναλυτή κατά την έξοδο των καπναερίων από τον λέβητα.

Στον παραπάνω τύπο τίθεται η ποσότητα των ξηρών καπναερίων $V_{R, \text{tr}}$, διότι η συσκευή που μετράει το CO ψύχει τα καπναέρια στο δείγμα που αναρροφά και συνεπώς αποβάλλεται η υγρασία του πριν γίνει η μέτρηση.

14. Απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα (X_C)

Οι απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα οφείλονται στην ακτινοβολία των θερμών επιφανειών του ατμολέβητα προς το περιβάλλον και στην αγωγιμότητα των τοιχωμάτων αυτού. Επειδή είναι δύσκολο να υπολογιστούν μπορούν να λαμβάνονται από τα πειράματα των Babcock-Wilcox κατά προσέγγιση 2 έως 3% της συνολικής προσδιδόμενης θερμότητας Q στον λέβητα, δηλαδή:

$$X_C = 2,5\% \cdot Q \quad (7.11)$$

15. Απώλειες από εκβορβόρωση (στρατσώνα)

Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην συνεχή ή στην κατά διαστήματα αποχέτευση νερού από το τύμπανο του ατμολέβητα με σκοπό την μείωση της συγκέντρωσης αλάτων. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις προτιμάται η συνεχής αποχέτευση νερού, οπότε επειδή οι απώλειες αυτές είναι σημαντικές τοποθετούνται συστήματα ανάκτησης θερμότητας.

Στον συγκεκριμένο λέβητα θεωρείται ότι η θερμότητα του νερού από την εκβορβόρωση ανακτάται για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού (όπως συμβαίνει συνήθως) και έτσι αυτές οι απώλειες δεν υπάρχουν.

16. Απώλειες από σχηματισμό αιθάλης

Η εγκατάσταση που εξετάζεται θεωρείται ότι είναι σύγχρονη, με καλή λειτουργία των καυστήρων, σωστό διασκορπισμό του καυσίμου, καλή ανάμειξη με τον αέρα καύσεως και ικανοποιητική περίσσεια αέρα λ, τότε δεν σχηματίζεται αιθάλη (άκαυστος άνθρακας) και έτσι αυτές οι απώλειες δεν υπάρχουν.

17. Προσδιδόμενη θερμότητα στην εστία του λέβητα

Η συνολική προσδιδόμενη θερμότητα στην εστία του λέβητα (Q) αποτελείται από την εκλυόμενη θερμότητα κατά την καύση του καυσίμου H_u , και από την θερμότητα q_v που εισάγεται στην εστία λόγω της προθέρμανσης του πετρελαίου. Όμως, στην περίπτωση αυτή το πετρέλαιο δεν προθερμαίνεται, άρα η προσδιδόμενη θερμότητα στην εστία του λέβητα ισούται με την εκλυόμενη θερμότητα κατά την καύση του καυσίμου, δηλαδή:

$$Q = H_u + q_v = 10.265 \text{ Kcal/Kg} + 0 = 10.265 \text{ Kcal/Kg} \quad (7.12)$$

18. Βαθμός απόδοσης του λέβητα

Σύμφωνα με τις παραπάνω απώλειες που υπολογίστηκαν και λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η τιμή του X_c είναι επί τις εκατό, ο βαθμός απόδοσης του λέβητα (η) υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$\eta = 1 - \frac{X_A + X_B}{Q} - X_C = 1 - \frac{930 \text{ Kcal /Kg} + 554 \text{ Kcal /Kg}}{10.265 \text{ Kcal /kg}} - 2.5\% = 1 - 0,145 - 0,025 = 0,83 \Rightarrow \quad (7.13)$$

$$\Rightarrow \eta = 83\%$$

19. Κατανάλωση καυσίμου

Η κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται από την βασική σχέση ισολογισμού θερμότητας, η οποία είναι:

$$\eta \cdot B \cdot Q = D \cdot \Delta h \quad (7.14)$$

όπου: η = βαθμός αποδόσεως

B = καταναλισκόμενη ποσότητα του καυσίμου

Q = συνολική προσδιδόμενη θερμότητα

D = ποσότητα του παραγόμενου ατμού

Δh = διαφορά ενθαλπίας του νερού

Η συνολική θερμότητα Q που προσδίδεται στον λέβητα με το καύσιμο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εκλύεται μέσα στην εστία. Ένα μέρος αυτής λόγω των απωλειών χάνεται και το υπόλοιπο που είναι 83% μεταδίδεται στο νερό του λέβητα για να ανέλθει η ενθαλπία αυτού από το σημείο 1,2 στο σημείο 4, όπως φαίνεται στο διάγραμμα T-s, δηλαδή θα έχουμε μεταβολή ενθαλπίας κατά Δh .

Υπολογισμός θερμότητας για παραγωγή 1Kg ατμού (Δh)

Η διαφορά ενθαλπίας που απαιτείται για να παραχθεί 1 Kg ατμός είναι η διαφορά ενθαλπίας Δh , δηλαδή:

$$\Delta h = h_4 - h_2$$

όπου: h_4 = η ενθαλπία του νερού κατά την ατμοποίηση του μέχρι τον κορεσμό

h_2 = η ενθαλπία του νερού τροφοδοτήσεως στην είσοδο του λέβητα

Από τους πίνακες του βιβλίου του Δρ. Ανδρέα Γιαννόπουλου βρίσκουμε τα εξής:

Σημείο 1 και 2:

$$P_1 = 1 \text{ bar}, T_1 = 100^\circ\text{C}$$

Από τον πίνακα κορεσμένων υδρατμών βρίσκεται η ενθαλπία του νερού στο σημείο 1 για πίεση 1 bar: $h_1 = h_2 = 417,44 \text{ KJ/Kg}$.

Σημείο 4:

$$P_4 = 11 \text{ bar}, T_4 = 184^\circ\text{C}$$

Από τον πίνακα κορεσμένων υδρατμών βρίσκεται η ενθαλπία του ατμού στο σημείο 4 για πίεση 11 bar: $h_4 = 2.780,67 \text{ KJ/Kg}$.

$$\text{Επομένως } \Delta h = h_4 - h_2 = 2.780,67 - 417,44 = 2.363,23 \text{ KJ/Kg}$$

Άρα η κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται ως εξής:

$$\eta \cdot B \cdot Q = D \cdot \Delta h \Rightarrow B = \frac{D \cdot \Delta h}{\eta \cdot Q} = \frac{8 \text{ t/h} \cdot 2.363,23 \text{ KJ/Kg}}{0,83 \cdot 10.265 \text{ Kcal/Kg} \cdot 4,187 \text{ KJ/Kcal}} = 0,530 \text{ t/h} \Rightarrow B = 530 \text{ Kg/h}$$

20. Πραγματικός όγκος καπναερίων

Κατά την έξοδο των καπναερίων από την κορυφή της καπνοδόχου ο πραγματικός όγκος τους είναι μεγαλύτερος από τον όγκο που έχουν υπό κανονικές συνθήκες, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυτών. Άλλωστε τα αέρια διαστέλλονται κατά πολύ με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η συνολική ποσότητα των καπναερίων με βάση την κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται ως εξής:

$$V'_R = B \cdot V_R = 0,530 \text{ t/h} \cdot 10^3 \cdot 13,68 \text{ Nm}^3/\text{Kg} = 7.250 \text{ Nm}^3/\text{h} \quad (7.15)$$

Θεωρώ ότι το ύψος της καπνοδόχου είναι $h_0 = 22 \text{ m}$ για τον λέβητα που εξετάζεται. Η θερμοκρασία των καπναερίων εντός της καπνοδόχου μειώνεται καθ' ύψος, λόγω της ψύξης αυτών. Η ψύξη είναι μεγαλύτερη σε μεταλλικές καπνοδόχους χωρίς μόνωση, ενώ είναι μικρότερη στις κτιστές καπνοδόχους. Η πτώση θερμοκρασίας καθ' ύψος λαμβάνεται περίπου $\Delta T = 1,5 \text{ }^\circ\text{C/m}$. Η θερμοκρασία στην κορυφή της καπνοδόχου θα είναι:

$$T_K = T_R - \Delta T \cdot h_0 = 220 \text{ }^\circ\text{C} - 1,5 \text{ }^\circ\text{C/m} \cdot 22 \text{ m} = 187 \text{ }^\circ\text{C}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο πραγματικός όγκος των καπναερίων, τον οποίο έχουν στην κορυφή της καπνοδόχου, δηλαδή σε θερμοκρασία $T_K = 187 \text{ }^\circ\text{C}$, με τον τύπο:

$$Q = V'_R \frac{273 + T_K}{273} = 7.250 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \frac{273 + 187}{273} = 12.216 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.16)$$

21. Διατομή καπνοδόχου

Η καπνοδόχος του λέβητα είναι μεταλλική και η διάμετρος της κορυφής είναι ίση με την διάμετρο της βάσης. Η διάμετρος της καπνοδόχου υπολογίζεται με βάση την συνολική ποσότητα των καπναερίων και την ταχύτητα αυτών κατά την έξοδό τους από την καπνοδόχο. Η ταχύτητα των καπναερίων είναι ίση με $u = 10 \text{ m/s}$. Η αναγκαία διάμετρος κυκλικού αγωγού για την παροχέτευση της παραπάνω ποσότητας καπναερίων προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{Q}{u}} = 18,8 \sqrt{\frac{12.216 \text{ m}^3/\text{h}}{10 \text{ m/s}}} = 657 \text{ mm} \approx 0,7 \text{ m} \quad (7.17)$$

22. Πάχος κυλινδρικού τοιχώματος λέβητα

Για τον υπολογισμό του πάχους του κυλινδρικού τοιχώματος χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \frac{K}{S} \cdot u + P} + C \quad (7.18)$$

όπου: $D=2400 \text{ mm}$ η εξωτερική διάμετρος του κυλινδρικού τοιχώματος

$P=1,0 \text{ N/mm}^2$ η μέγιστη εσωτερική σχετική πίεση του ατμολέβητα

$S=1,5$ ο συντελεστής ασφαλείας για δοχεία πίεσεως με εσωτερική πίεση

$u=0,7$ ο συντελεστής εξασθενήσεως λόγω συγκολλήσεως

$C=1,0 \text{ mm}$ η προσαύξηση του πάχους του ελάσματος για την αντιμετώπιση

της διάβρωσης του ελάσματος λόγω οξειδώσεων

$K=$ η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα εξαρτώμενη από την θερμοκρασία

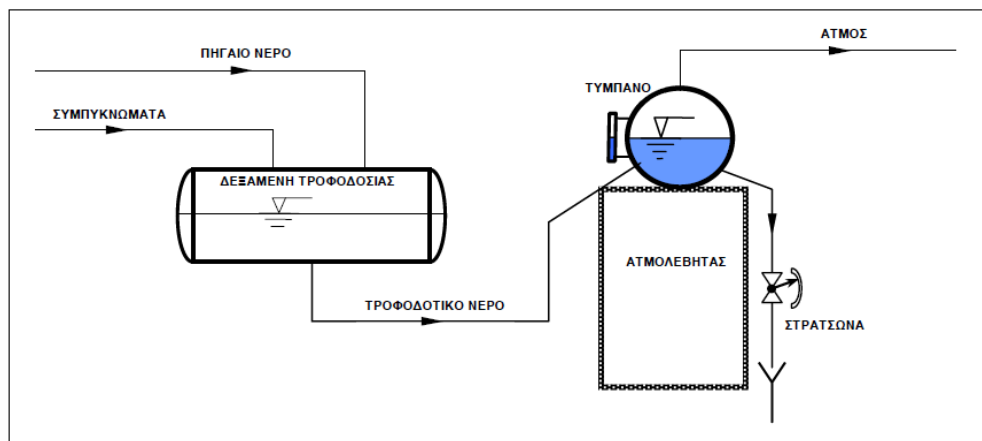
και προσδιοριζόμενη ως εξής:

Σύμφωνα με τον πίνακα κορεσμένων υδρατμών η θερμοκρασία που έχει κορεσμένος ατμός με απόλυτη πίεση 11 bar είναι: $T=184^\circ\text{C}$.

Στη συνέχεια από τον πίνακα του βιβλίου 'Στοιχεία Μηχανών Ι' για θερμοκρασία 200°C , δηλαδή για τιμή αμέσως μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα $T=184^\circ\text{C}$, η αντοχή του χάλυβα Η ΙΙ είναι: $K=206 \text{ N/mm}^2$.

Το πάχος του κυλινδρικού τοιχώματος βρίσκεται με αντικατάσταση των γνωστών μεγεθών στον παραπάνω τύπο:

$$t = \frac{1,0 \text{ N/mm}^2 \cdot 2400 \text{ mm}}{2 \cdot \frac{206 \text{ N/mm}^2}{1,5} \cdot 0,7 + 1,0 \text{ N/mm}^2} + 1,0 \text{ mm} = 13,42 \text{ mm} \approx \mathbf{14 \text{ mm}}$$



Σχήμα 7.2

23. Παροχή ατμού

Η παροχή ατμού m_D είναι γνωστή από τα δεδομένα και είναι ίση με $m_D=8$ t/h. Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται αντιστοιχεί με το σημείο 4 του σχήματος 7.1. Από τον πίνακα κορεσμένων υδρατμών για $P=11$ bar βρίσκεται ο ειδικός όγκος, ο οποίος είναι $\hat{v}=177,436 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}$. Άρα, ο όγκος αυτού είναι:

$$Q_D = \hat{v} \cdot m_D = 177,436 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg} \cdot 8 \cdot 10^3 \text{ Kg/h} = 1419,5 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (7.19)$$

24. Παροχή τροφοδοτικού νερού

Η παροχή του τροφοδοτικού νερού προκύπτει από τον ισολογισμό του νερού στον λέβητα, δηλαδή από την παρακάτω σχέση:

$$m_W = m_D + m_B = 8 \text{ t/h} + 0,10 \cdot 8 \text{ t/h} = 8,8 \text{ t/h} \quad (7.20)$$

όπου: m_B είναι η ποσότητα του νερού εκβορβόρωσης (στρατσώνας).

Επειδή ο λέβητας είναι μικρών απαιτήσεων θεωρούμε στρατσώνα 10% αν είναι συνεχής.

Το τροφοδοτικό αυτό νερό είναι κρύο και έχει ειδικό όγκο $\hat{v}=1 \text{ dcm}^3/\text{kg}=1 \text{ m}^3/\text{ton}$, επομένως ο όγκος αυτού είναι:

$$Q_W = \hat{v} \cdot m_W = 1 \text{ m}^3/\text{ton} \cdot 8,8 \text{ t/h} = 8,8 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (7.21)$$

Η απώλεια νερού κατά την πραγματοποίηση εκβορβόρωσης (στρατσώνας) είναι:

- Για συνεχή στρατσώνα σε μία ώρα το νερό που αποχετεύεται είναι:
 $m_B = 0,8 \text{ t/h} \cdot 60 \text{ min} = \frac{0,8 \text{ t}}{60 \text{ min}} \cdot 60 \text{ min} = 0,8 \text{ t}$
- Με διακοπτόμενη λειτουργία σε 10 min για να αποχετευτεί ίση ποσότητα νερού 0,8 t είναι: $m_B = \frac{0,8 \text{ t}}{\frac{10 \text{ min}}{60 \text{ min}}} = 4,8 \text{ t/h}$

α) Παροχή αντλίας μέγιστη

Την ώρα της στρατσώνας:

$$m_W = m_D + m_B = 8 \text{ t/h} + 4,8 \text{ t/h} = 12,8 \text{ t/h}, \text{ άρα } Q_W = \hat{v} \cdot m_W = 1 \text{ m}^3/\text{ton} \cdot 12,8 \text{ t/h} = 12,8 \text{ m}^3/\text{h}.$$

β) Μανομετρικό αντλίας

$$H = P + h_1 - h_2 + P_a - P_2 \quad (7.22)$$

Όπου: P = η πίεση του λέβητα=10 atü

h_1 = το ύψος του λέβητα=2,5 m

h_2 = το ύψος της δεξαμενής=2,0 m

P_a = απώλειες πίεσης=2 bar

P_2 =πίεση δεξαμενής= 0 atü

Με αντικατάσταση του τύπου είναι:

$$\begin{aligned} H &= 10 \text{ atü} + 2,5 \text{ mH}_2\text{O} - 2,0 \text{ mH}_2\text{O} + 2 \text{ atü} - 0 \text{ atü} = \\ &= 10 \text{ atü} + 0,25 \text{ atü} - 0,2 \text{ atü} + 2 \text{ atü} - 0 \text{ atü} = 12,05 \text{ atü} \end{aligned}$$

Το μανομετρικό μετατρέπεται σε bar, δηλαδή: $H = 12,05 \text{ atü} \cdot 0,981 = 11,8 \approx 12 \text{ bar}$

25. Παροχή επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων

Από τα δεδομένα είναι γνωστό ότι το 30% του ατμού καταναλώνεται, άρα το 70% του ατμού επιστρέφει ως συμπυκνώματα νερού. Επομένως, η μάζα των επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων του ατμού (m_c) είναι:

$$m_c = 70\% \cdot m_D = 0,7 \cdot 8 \text{ t/h} = 5,6 \text{ t/h} \quad (7.23)$$

Από τον πίνακα κορεσμένων υδρατμών για πίεση $P=1 \text{ bar}$ βρίσκεται ο ειδικός όγκος, ο οποίος είναι: $\hat{v} = 1,043 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}$. Άρα, ο όγκος αυτού είναι:

$$Q_c = \hat{v} \cdot m_c = 1,043 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg} \cdot 5,6 \cdot 10^3 \text{ Kg/h} = 5,84 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (7.24)$$

26. Διάμετρος σωλήνων ατμού

Πίνακας 7.1 : Διάμετρος και πάχος σωλήνων άνευ ραφής

Ονομαστική διάμετρος DN ή NW, σε mm.	Διάμετρος και πάχος σωλήνων άνευ ραφής κατά ISO, σε mm.	Αντίστοιχη διάμετρος σπειρώματος σε ίντσες(in).
10	17,2 ^Φ x 1,8	R3/8"
15	21,3 ^Φ x 2	R1/2"
20	26,9 ^Φ x 2,3	R3/4"
25	33,7 ^Φ x 2,6	R1"
32	42,4 ^Φ x 2,6	R1¼"
40	48,3 ^Φ x 2,6	R1½"
50	60,3 ^Φ x 2,9	R2"
65	76,1 ^Φ x 2,9	R2½"
80	88,9 ^Φ x 3,2	R3"
100	114,3 ^Φ x 3,6	R4"
125	139,7 ^Φ x 4	R5"
150	168,3 ^Φ x 4,5	-
200	219,1 ^Φ x 5,9	-
250	273 ^Φ x 6,3	-
300	323,9 ^Φ x 7,1	-
350	355,6 ^Φ x 8	-
400	406,4 ^Φ x 8,8	-
500	508 ^Φ x 11	-

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου σωλήνων ατμού χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$d = 594 \sqrt{\frac{m_D \cdot \hat{v}}{u}} = 594 \sqrt{\frac{8 \frac{t}{h} \cdot 177,436 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}}{20 \text{ m/s}}} = 158 \text{ mm} \quad (7.25)$$

όπου u είναι η ταχύτητα του ατμού και εκτιμάται ότι είναι ίση με: $u=20$ m/s.

Από τον πίνακα 7.1 η πιο κοντινή ονομαστική διάμετρος σωλήνος που αντιστοιχεί με αυτήν που υπολογίστηκε παραπάνω είναι: $d=DN150$, και η αντίστοιχη τυποποιημένη διάμετρος άνευ ραφής κατά ISO είναι: $168,3^{\Phi} \times 4,5\text{mm}$.

Ο σωλήνας αυτός έχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Εξωτερική διάμετρος $d_{εξ} = 168,3$ mm

- Πάχος τοιχώματος $\delta = 4,5 \text{ mm}$
- Εσωτερική διάμετρος $d_{\varepsilon\sigma} = 168,3 - 2 \cdot 4,5 = 159,3 \text{ mm}$

Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα που επιλέχτηκε, παρατηρείται ότι είναι λίγο μεγαλύτερη από την απαιτούμενη $d=158\text{mm}$. Άρα είναι απόλυτα ικανοποιητική.

27. Διάμετρος σωλήνων νερού.

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου σωλήνων νερού στην κατάθλιψη της αντλίας χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$d=18,8 \sqrt{\frac{Q_w}{u}} = 18,8 \sqrt{\frac{12,8 \text{ m}^3/\text{h}}{2,0 \text{ m/s}}} = 47,6 \text{ mm} \quad (7.26)$$

όπου u είναι η ταχύτητα του νερού και εκτιμάται ότι είναι ίση με: $u=2,0 \text{ m/s}$.

Από τον πίνακα 7.1 η πιο κοντινή ονομαστική διάμετρος σωλήνος που αντιστοιχεί με αυτήν που υπολογίστηκε παραπάνω είναι: $d=\text{DN}50$, και η αντίστοιχη τυποποιημένη διάμετρος άνευ ραφής κατά ISO είναι: $60,3^{\Phi} \times 2,9\text{mm}$.

Ο σωλήνας αυτός έχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Εξωτερική διάμετρος $d_{\varepsilon\xi} = 60,3 \text{ mm}$
- Πάχος τοιχώματος $\delta = 2,9\text{mm}$
- Εσωτερική διάμετρος $d_{\varepsilon\sigma} = 60,3 - 2 \cdot 2,9 = 54,5 \text{ mm}$

Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα που επιλέχτηκε, παρατηρείται ότι είναι λίγο μεγαλύτερη από την απαιτούμενη $d=47,6\text{mm}$. Άρα είναι απόλυτα ικανοποιητική.

28. Διάμετρος σωλήνων συμπυκνωμάτων

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου σωλήνων συμπυκνωμάτων χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$d=18,8 \sqrt{\frac{Q_c}{u}} = 18,8 \sqrt{\frac{5,84 \text{ m}^3/\text{h}}{1,0 \text{ m/s}}} = 45,4 \text{ mm} \quad (7.27)$$

όπου u είναι η ταχύτητα των συμπυκνωμάτων και εκτιμάται ότι είναι ίση με: $u=1,0\text{m/s}$.

Από τον πίνακα 7.1 η πιο κοντινή ονομαστική διάμετρος σωλήνος που αντιστοιχεί με αυτήν που υπολογίστηκε παραπάνω είναι: $d=\text{DN}40$, και η αντίστοιχη τυποποιημένη διάμετρος άνευ ραφής κατά ISO είναι: $48,3^{\Phi} \times 2,6\text{mm}$.

Ο σωλήνας αυτός έχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Εξωτερική διάμετρος $d_{\varepsilon\xi} = 48,3 \text{ mm}$
- Πάχος τοιχώματος $\delta = 2,6 \text{ mm}$
- Εσωτερική διάμετρος $d_{\varepsilon\sigma} = 48,3 - 2 \cdot 2,6 = 43,1 \text{ mm}$

Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα που επιλέχτηκε, παρατηρείται ότι είναι περίπου ίση με την απαιτούμενη $d=45,4\text{mm}$. Άρα είναι απόλυτα ικανοποιητική.

29. Διάμετρος σωλήνων πετρελαίου

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου σωλήνων πετρελαίου χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$d=18,8\sqrt{\frac{V_B}{u}} \quad (7.28)$$

όπου u είναι η ταχύτητα του πετρελαίου και εκτιμάται ότι είναι ίση με: $u=1,2\text{m/s}$, και V_B η παροχή πετρελαίου που υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$B = \rho \cdot V_B \Rightarrow V_B = \frac{B}{\rho} \Rightarrow V_B = \frac{530 \text{ Kg/h}}{0,8 \text{ Kg/lt}} = 662,5 \text{ lt/h} = 0,66 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.29)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του πετρελαίου.

Έτσι με αντικατάσταση στον παραπάνω τύπο υπολογίζεται η διάμετρος σωλήνων πετρελαίου:

$$d=18,8\sqrt{\frac{V_B}{u}}=18,8\sqrt{\frac{0,66 \text{ m}^3/\text{h}}{1,2 \text{ m/s}}}=13,9 \text{ mm} \quad (7.30)$$

Από τον πίνακα 7.1 η πιο κοντινή ονομαστική διάμετρος σωλήνος που αντιστοιχεί με αυτήν που υπολογίστηκε παραπάνω είναι: $d=DN15$, και η αντίστοιχη τυποποιημένη διάμετρος άνευ ραφής κατά ISO είναι: $21,3^\Phi \times 2\text{mm}$.

Ο σωλήνας αυτός έχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Εξωτερική διάμετρος $d_{εξ} = 21,3\text{mm}$
- Πάχος τοιχώματος $\delta = 2 \text{ mm}$
- Εσωτερική διάμετρος $d_{εσ} = 21,3 - 2 \cdot 2 = 17,3\text{mm}$

Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα που επιλέχτηκε, παρατηρείται ότι είναι λίγο μεγαλύτερη από την απαιτούμενη $d= 13,9\text{mm}$. Άρα είναι απόλυτα ικανοποιητική.

• Συμπεράσματα

Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων των υπολογισμών:

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα υπολογισμών

	Αποτελέσματα
Κατανάλωση καυσίμου	$B=530 \text{ Kg/h}$
Ποσότητα καπναερίων	$V'_R = 7.250 \text{ Nm}^3/\text{h}$
Διατομή καπνοδόχου	$D=0,7 \text{ m}$
Πάχος κυλινδρικού τοιχώματος	$t=14 \text{ mm}$
Παροχή ατμού	$m_D=8 \text{ t/h}$
Παροχή τροφοδοτικού νερού	$m_W=8,8 \text{ t/h}$
Παροχή επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων	$m_C= 5,6 \text{ t/h}$
Διάμετρος σωλήνων ατμού	$d=158 \text{ mm}$
Διάμετρος σωλήνων νερού	$d=47,6 \text{ mm}$
Διάμετρος σωλήνων συμπυκνωμάτων	$d=45,4 \text{ mm}$
Διάμετρος σωλήνων πετρελαίου	$d=13,9 \text{ mm}$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ^(*)

Βιβλία:

1. Γ. Φ. Δανιήλ, Κων. Ηρ. Μιμηκόπουλου, *Ναυτικοί Ατμολέβητες*, Αθήνα, 1984.
2. Ν. Παπαγεωργίου, *Ατμοπαραγωγοί I Γενικές αρχές*, Έκδοση 2^η, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1991.
3. Ν. Παπαγεωργίου, *Ατμοπαραγωγοί II Εμβάθυνση*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1991.
4. Αντώνιος Α. Αντωνιάδης, *Βιομηχανικές εγκαταστάσεις ατμού: μελέτη, κατασκευή, συντήρηση εγκαταστάσεων ατμού*, παραδείγματα εφαρμογών, Θεσσαλονίκη, 1994.
5. Δρ Ανδρέας Χρ. Γιαννόπουλος, *Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, οδηγός επίλυσης ασκήσεων πράξης*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Πάτρα, 2011.
6. Ιωάννης Κ. Στεργίου, Κωνσταντίνος Ι. Στεργίου, *Στοιχεία Μηχανών I*, Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ, Αθήνα, 2003.
7. Εμμ. Κ. Κακαράς, *Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί*, Έκδοση 2^η, Εκδόσεις Fountas, Αθήνα, 2009.
8. Ιωάννης Γ. Μπλούκας, *Επεξεργασία τροφίμων & Συντήρηση Τροφίμων*, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα, 2004.