

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ:**

**ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΛΗΡΟΙ ΤΟ ΝΕΡΟ ΤΩΝ  
ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΑΓΜ 4284**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΜΠΑΚΟΓΙΑΝΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2012**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ :  
ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΛΗΡΟΙ ΤΟ ΝΕΡΟ  
ΤΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΑΜ : 4284**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα της τους ατμολέβητες και την ποιότητα του νερού με το οποίο πρέπει να τροφοδοτούνται αυτοί. Περιέχει δύο ανεξάρτητα κεφάλαια και ένα επιπρόσθετο στο τέλος ως επίλογο.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή των λεβήτων και παρουσιάζονται η λειτουργία τους και όλες οι επιμέρους κατηγορίες που αυτοί χωρίζονται. Στο δεύτερο κεφάλαιο καταγράφονται στοιχεία που αφορούν στην ποιότητα του νερού που οδεύουν σε ατμολέβητες και στην χημική επεξεργασία που πρέπει να δέχεται αυτό. Αντί επιλόγου, η εργασία κλείνει με την καταγραφή κάποιων συμπερασμάτων που προκύπτουν από αυτή.

## **ABSTRACT**

This thesis has as an issue the steam boilers and the water quality with which they should be feeding. The thesis is structured in two independent chapters. Also has an additional chapter in the final which acts as a epilogue.

The first chapter operates as an introduction. This chapter gives a general description of the boiler and their operations are presented. Also all individual categories are separated. The thesis closes with the second chapter which deals with the water quality in steam boilers. Also describes the necessary chemical treatments subject to the water to satisfy the quality standards. Instead of epilogue the current thesis closes recording some conclusions resulting from this.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	3
Abstract.....	4
Περιεχόμενα .....	5
Πρόλογος .....	6
1ο Κεφάλαιο “Εισαγωγή – λέβητες” .....	7
1.1 Γενικά στοιχεία λεβήτων .....	7
1.2 Είδη λεβήτων .....	8
1.3 Κύρια μέρη τυπικού λέβητα .....	14
1.4 Όργανα ελέγχου και ασφαλείας και πιστοποίηση λεβήτων .....	15
2ο Κεφάλαιο “Χρήση νερού στους ατμολέβητες” .....	18
2.1 Ποιότητα νερού ατμολεβήτων .....	18
2.2 Χημική επεξεργασία νερού ατμολεβήτων.....	20
2.2.1 Αλλαγή βάσης .....	21
2.2.2 Απαλκαλίωση.....	23
2.2.3 Αφαλάτωση.....	24
2.2.4 Απαιτούμενη χημική επεξεργασία ανά τύπο ατμολέβητα .....	26
Επίλογος - συμπεράσματα.....	28
Κατάλογος σχημάτων .....	30
Βιβλιογραφία .....	31

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο ατμός είναι μια από τις πλέον χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας στην βιομηχανία αλλά και όχι μόνο. Αυτή την στιγμή έχει χιλιάδες εφαρμογές. Ξεκίνησε από την βιομηχανική επανάσταση η χρήση του σε εφαρμογές όπως για παράδειγμα σε ατμόπλοια για την κίνησή τους. Η ανάπτυξη της τεχνικής παραγωγής του έχει δώσει πολύ μεγάλες δυνατότητες για την αύξηση της χρήσης του σε πολλές άλλες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η ηλεκτροπαραγωγή.

Είναι σαφές λοιπόν ότι ο ατμός έχει σημαντική θέση σε ένα σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον. Ωστόσο δεν τον βρίσκουμε ελεύθερο όπως το νερό στην ατμόσφαιρα, πρέπει να τον παράξουμε. Η παραγωγή του γίνεται με ένα και μοναδικό τρόπο, την θέρμανση του νερού. Για αυτό η παραγωγή του απαιτεί καύση καυσίμου, έτσι ώστε να γίνει η μετατροπή της χημικής ενέργειας που αυτό αποθηκεύει σε θερμική και να θερμανθεί το νερό ώστε να εξατμιστεί.

Την λειτουργία της καύσης του καυσίμου την εκτελούν ορισμένα μηχανήματα τα οποία λέγονται καυστήρες. Η θερμότητα που παράγεται από την καύση πρέπει να μεταφερθεί και στο νερό, ώστε αυτό με την σειρά του να εξατμιστεί. Η μεταφορά γίνεται σε κάποια άλλα μηχανήματα που ονομάζονται εναλλάκτες. Είναι προφανές λοιπόν ότι ένα μηχάνημα που θα παράγει ατμό πρέπει να φέρει τόσο τον καυστήρα όσο και τον εναλλάκτη. Το μηχάνημα αυτό ονομάζεται ατμολέβητας. Είναι ένα μηχάνημα σχεδόν απαραίτητο σε κάθε σύγχρονη βιομηχανία, για αυτό και η ανάλυσή του είναι πάντα ένα επίκαιρο θέμα. Για το λόγο αυτό η παρούσα εργασία έχει ουσιαστικό νόημα, ίσως όχι τόσο επιστημονικό, αλλά καθαρά πρακτικό.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΛΕΒΗΤΕΣ”

### 1.1 Γενικά στοιχεία λεβήτων

Οι λέβητες είναι μηχανικές συσκευές για τις οποίες όλοι έχουμε ακούσει. Σε κάθε πολυκατοικία γνωρίζουμε ότι υπάρχει ένας λέβητας. Επιστημονικά όμως τι είναι ο λέβητας; Ως λέβητας ορίζεται μια δεξαμενή, η οποία μεταβιβάζει θερμότητα από την καύση ενός καυσίμου στο θερμαντικό μέσο. Είναι στην ουσία μια μεταλλική κατασκευή, στην οποία παράγεται θερμότητα και μεταδίδεται σε ένα θερμαντικό μέσο. Συνδυάζει ένα καυστήρα, ο οποίος μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε θερμική ενέργεια και έναν εναλλάκτη, ο οποίος μεταδίδει την παραγόμενη θερμότητα στο θερμαντικό μέσο.

Το συνηθέστερο θερμαντικό μέσο είναι το νερό. Σε αρκετά συστήματα, οι λέβητες ζεσταίνουν νερό χαμηλών θερμοκρασιών (σε όλα τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης). Σε αρκετά άλλα συστήματα όμως, αυξάνουν πολύ τη θερμοκρασία του νερού, σε σημείο που να το ατμοποιούν (κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής). Σπανιότερα, συναντούμε και τους λέβητες που χρησιμοποιούν ως κύριο μέσο τον αέρα, τον θερμαίνουν και διαμέσου αεραγωγών, τον μεταφέρουν, ώστε να θερμάνουν χώρο ή να αποξηράνουν προϊόντα. Ακόμη πιο σπάνιοι είναι οι λέβητες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως θερμαντικό μέσο το λάδι ή άλλα ρευστά, με ελάχιστες εφαρμογές.

Σε κάθε περίπτωση, το καύσιμο ποικίλει. Μπορεί να είναι τα παραδοσιακά καύσιμα, δηλαδή ο άνθρακας (λιγνίτης), το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Μπορεί όμως να είναι και άλλα καύσιμα όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, το ξύλο, το πέλλετ, αγροτικά κατάλοιπα, σκουπίδια κ.α. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν οι κατηγορίες των λεβήτων αναλόγως του καυσίμου που καίνε.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κατά βάση με τους ατμολέβητες. Πριν όμως περάσουμε σε αυτούς στο δεύτερο κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε λίγα γενικά στοιχεία για τους λέβητες. Αρχικά θα επιχειρηθεί μια κατηγοριοποίησή τους με διάφορα κριτήρια. Ακολούθως, θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα τμήματά τους. Στο τέλος, θα καταγραφούν διάφορες διατάξεις ασφαλείας και οι διαδικασίες πιστοποίησής τους. Για αυτό το λόγο παρατίθενται οι επόμενες τρεις υποενότητες.

## 1.2 Είδη λεβήτων

Οι λέβητες διακρίνονται σε πολλές κατηγορίες οι οποίες προέρχονται από πολλά κριτήρια κατηγοριοποίησης. Οι περισσότερες κατηγοριοποιήσεις που καταγράφονται εδώ αφορούν και τους ατμολέβητες, την μεγαλύτερη κατηγορία λεβήτων πέραν των λεβήτων κεντρικής θέρμανσης. Παρακάτω, θα δοθούν παραταχθούν λοιπόν τα κριτήρια με τα οποία γίνεται η εκάστοτε κατηγοριοποίηση και οι κατηγορίες που προκύπτουν για κάθε κριτήριο.

Πρώτο κριτήριο είναι το **υλικό κατασκευής των λεβήτων**. Βάσει αυτού του κριτηρίου, δημιουργούνται πέντε κατηγορίες με γνωστότερες τις δύο πρώτες.

- Χυτοσιδηροί (μαντεμένιοι) λέβητες.
- Χαλύβδινοι λέβητες.
- Χάλκινοι λέβητες.
- Ανοξείδωτοι λέβητες.
- Διμεταλλικοί λέβητες.

Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι λέβητες είναι οι χυτοσιδηροί και οι χαλύβδινοι. Οι χυτοσιδηροί λέβητες είναι κατασκευασμένοι από φέτες χυτοσιδήρου, οι οποίες ακολούθως συνδέονται μεταξύ τους. Αυτή η κατασκευαστική ιδιομορφία τους δίνει μια σειρά πλεονεκτημάτων. Το πρώτο είναι η δυνατότητα να μεταφερθούν μια-μια οι φέτες στο λεβητοστάσιο και να συναρμολογηθούν εκεί. Αυτό συνεπάγεται ότι δε χρειάζεται να χωράει ολόκληρος ο λέβητας από την πόρτα του λεβητοστασίου, αρκεί να χωράνε οι φέτες του. Το δεύτερο είναι η δυνατότητα αντικατάστασης της κάθε φέτας ξεχωριστά, σε περίπτωση που αυτή φθαρεί ή παρουσιάσει δυσλειτουργίες, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το κόστος συντήρησης. Τέλος, το τρίτο πλεονέκτημα που προκύπτει από την κατασκευαστική ιδιομορφία του είναι ότι μπορεί εύκολα να επεκταθεί ο λέβητας, με την προσθήκη επιπλέον φετών. Ακόμη ένα πλεονέκτημα των χυτοσιδηρών λεβήτων, το οποίο όμως αυτή την φορά προκύπτει από το υλικό του, είναι η μεγάλη αντοχή σε διάβρωση. Οι χυτοσιδηροί λέβητες όμως παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα, με σημαντικότερο όλων το μεγάλο κόστος για την αγορά τους. Πέραν αυτού έχουν μεγάλο βάρος, που δυσκολεύει τη μεταφορά τους, η επισκευή τους σε μικροπροβλήματα είναι δύσκολη, η αντοχή τους στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας και στα θερμικά σοκ, είναι μικρή και σε κάποιους από αυτούς, είναι ιδιαίτερα δύσκολος ο καθαρισμός. Στην εικόνα του σχήματος 1.1 φαίνεται μια σειρά χυτοσιδηρών λεβήτων της εταιρίας Viessmann. Ειδικά στο δεξί τμήμα της εικόνας φαίνεται ξεκάθαρα η ύπαρξη των φετών του συγκεκριμένου λέβητα.





**Σχήμα 1.1: Χυτοσιδηροί λέβητες της εταιρίας Viessmann**

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία λεβήτων είναι οι χαλύβδινοι λέβητες. Η κατασκευή τους γίνεται από χαλυβδοελάσματα, επεξεργασμένα από ράουλα και στράντζες και συνδεδεμένα μεταξύ τους με ηλεκτροσυγκόλληση. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούν δεν φέρουν ραφή. Η κατασκευή τους είναι ιδιαίτερα απλή, οπότε έχουν πολύ μικρότερο κόστος από τους χυτοσιδηρούς λέβητες. Επίσης, έχουν μικρότερο βάρος, μεγαλύτερη αντοχή στα θερμικά σοκ, υψηλότερη αντοχή σε υψηλές πιέσεις και καλό βαθμό απόδοσης. Ο τρόπος κατασκευής του λέβητα επιτρέπει επίσης την εύκολη προσαρμογή του λέβητα σε διάφορες διαστάσεις και την εύκολη επισκευή του με απλή συγκόλληση. Βέβαια και οι χαλύβδινοι λέβητες εμφανίζουν κάποια μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο από όλα είναι η δυσκολία στη μεταφορά τους για λέβητες μεγάλης ισχύος. Οι λέβητες μεγάλης ισχύος συνεπάγεται ότι έχουν και μεγάλο μέγεθος. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο χαλύβδινος λέβητας μεταφέρεται ως ενιαίο κομμάτι, τότε όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του, τόσο δυσκολότερη είναι και η μεταφορά του. Ένα δεύτερο μειονέκτημά τους είναι ότι η ισχύς τους δεν μπορεί να αυξηθεί, όπως των χυτοσιδηρών γιατί δεν επιδέχονται επεκτάσεων. Από την στιγμή που θα κατασκευαστούν, δεν δύναται να τροποποιηθούν ως προς το μέγεθός τους. Το τρίτο τους μειονέκτημα είναι και το μειονέκτημα του χάλυβα, ο οποίος έχει μικρή αντοχή σε οξειδώσεις και ηλεκτροδιαβρώσεις, με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά του. Αυτό λύνεται με τη χρήση ανοξειδωτων λεβήτων. Το σχήμα 1.2 παρουσιάζει ένα χαλύβδινο λέβητα και πάλι της εταιρίας Viessmann. Στο δεξί τμήμα φαίνεται η δομή του και πλέον είναι εύκολα αντιληπτό ότι ο λέβητας αυτός είναι ενιαίος.

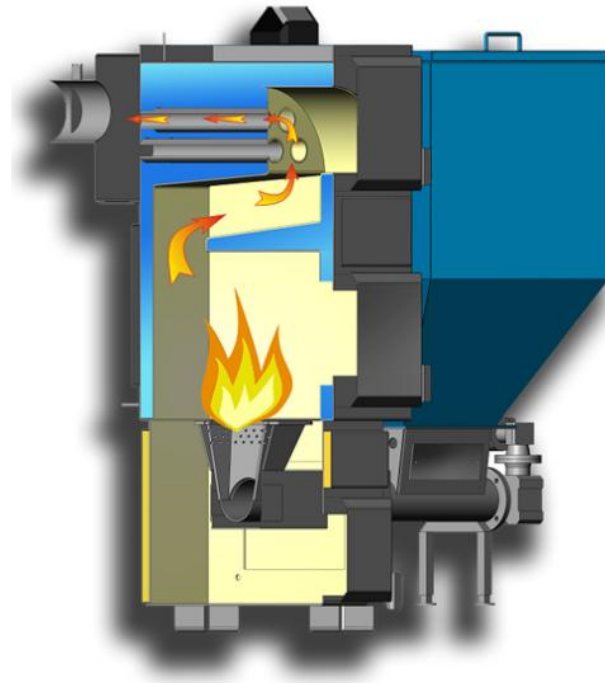


**Σχήμα 1.2: Χαλύβδινοι λέβητες της εταιρίας Viessmann**

Η δεύτερη κατηγοριοποίηση για τους λέβητες γίνεται με κριτήριο **το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν**. Με βάση αυτό το κριτήριο, δημιουργούνται τέσσερις κατηγορίες λεβήτων, οι ακόλουθες:

- Λέβητες στερεών καυσίμων.
- Λέβητες αερίων καυσίμων.
- Λέβητες υγρών καυσίμων.
- Λέβητες βιομάζας.

Εδώ και χρόνια επικρατούσαν οι λέβητες υγρών καυσίμων, κυρίως αυτοί που είχαν ως καύσιμο το πετρέλαιο. Τα τελευταία χρόνια διαδόθηκαν ευρύτατα και οι λέβητες αερίων καυσίμων που αξιοποιούν κατά βάση το φυσικό αέριο. Ακόμοι πιο πρόσφατοι είναι οι σύγχρονοι λέβητες βιομάζας, οι οποίοι κερδίζουν όλο και μεγαλύτερο μέρος της αγοράς των λεβήτων. Τέλος, οι λιγότερο χρησιμοποιούμενοι λέβητες είναι οι λέβητες στερεών καυσίμων, οι οποίοι έχουν πολύ μικρό αριθμό εφαρμογών. Κυρίως τους συναντούμε για ηλεκτροπαραγωγή, σε μεγάλες εφαρμογές ως λέβητες καύσης άνθρακα και λιγνίτη για την παραγωγή ατμού. Στα προηγούμενα σχήματα 1.1 και 1.2 φαίνονται οι μορφές ενός λέβητα καύσης υγρών ή αερίων καυσίμων. Στο σχήμα 1.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η γενική μορφή ενός λέβητα ο οποίος έχει ως καύσιμό του τη βιομάζα. Παρατηρείται τεράστια διαφορά στην φιλοσοφία της σχεδίασης, η οποία αφορά κυρίως στο σύστημα τροφοδοσίας του λέβητα με την βιομάζα.



Σχήμα 1.3: Λέβητας βιομάζας

Η τρίτη κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση το κριτήριο της **θερμικής τους ισχύος**. Έτσι προκύπτουν τρεις κατηγορίες λεβήτων, οι παρακάτω:

- Μικροί λέβητες.
- Μεσαίοι λέβητες.
- Μεγάλοι λέβητες.

Οι μικροί λέβητες χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται όσοι λέβητες έχουν ισχύ έως και 60kW. Οι μεσαίοι και οι μεγάλοι λέβητες βρίσκουν περισσότερες εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται είτε για να θερμάνουν μεγάλους χώρους, είτε για την παραγωγή ατμού, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα την ηλεκτροπαραγωγή, διάφορες χημικές διεργασίες κλπ. Η διάκριση μεταξύ μεσαίων και μεγάλων λεβήτων γίνεται στα 400kW. Έτσι, λέβητες με ισχύ από 60kW έως 400kW θεωρούνται μεσαίοι και λέβητες με ισχύ μεγαλύτερη των 400kW θεωρούνται μεγάλοι.

Το επόμενο, τέταρτο κριτήριο για την κατηγοριοποίηση των λεβήτων **είναι η πίεση που επικρατεί στον θάλαμο καύσης του λέβητα**. Με βάση αυτό το κριτήριο προκύπτουν τρεις κατηγορίες λεβήτων οι οποίες είναι:

- Λέβητες πιεστικοί ή λέβητες υψηλής αντίθλιψης.
- Λέβητες χαμηλής αντίθλιψης.
- Λέβητες ατμοσφαιρικοί.

Οι παλαιότεροι λέβητες ήταν ατμοσφαιρικοί, δηλαδή η καύση γινόταν σε συνθήκες ατμόσφαιρας, όπως και η μεταφορά θερμότητας. Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν οι πιεστικοί λέβητες ή αλλιώς οι λέβητες υψηλής αντίθλιψης, οι οποίοι πριν διώξουν τα καυσαέρια στο περιβάλλον, τα κυκλοφορούν σε περίπλοκες διαδρομές, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούν την θερμική τους ενέργεια, για να ζεστάνουν περισσότερο το μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνουν εξοικονόμηση καυσίμου και πετυχαίνουν την ίδια ισχύ με μικρότερα μεγέθη λέβητα. Όμως για να γίνει αυτή η κίνηση των καυσαερίων απαιτείται η ύπαρξη πίεσης μεγαλύτερης της ατμοσφαιρικής. Αυτό συνεπάγεται την τροφοδότηση με μεγαλύτερες ποσότητες συμπιεσμένου πλέον αέρα, με αποτέλεσμα την καλύτερη μίξη αέρα και καυσίμου και εν τέλει την καλύτερη απόδοση της καύσης. Πέραν αυτών των πλεονεκτημάτων των λεβήτων υψηλής αντίθλιψης, υπάρχει ακόμη ένα, το οποίο έχει να κάνει με την εξαφάνιση του προβλήματος ελκυσμού της καμινάδας, γιατί η πίεση στο εσωτερικό του λέβητα πλέον είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και τα καυσαέρια εξέρχονται πολύ ευκολότερα. Τα μειονεκτήματα τους όμως είναι η απαίτηση της ύπαρξης ανεμιστήρα, ο οποίος συχνά δημιουργεί υψηλούς θορύβους και αυξάνει το κόστος της κατασκευής. Επίσης, είναι σχεδόν αποκλειστικά χαλύβδινοι με αποτέλεσμα να συγκεντρώνουν όλα τα μειονεκτήματα των χαλύβδινων λεβήτων. Οι λέβητες χαμηλής αντιστάθμισης φέρουν ανεμιστήρα, ο οποίος όμως δεν προκαλεί αύξηση της πίεσης. Σε όλες τις καύσεις χρησιμοποιούνται πλέον λέβητες υψηλής αντιστάθμισης με χρήση ανεμιστήρα. Εξάιρεση αποτελεί η καύση αερίων καυσίμων, στην οποία μπορούμε να συναντήσουμε και λέβητες χαμηλής αντιστάθμισης και λέβητες ατμοσφαιρικούς.

Το πέμπτο κριτήριο διαχωρισμού σε κατηγορίες για τους λέβητες είναι **η δυνατότητα εναλλαγής του καυσίμου** το οποίο χρησιμοποιούν. Με βάση το συγκεκριμένο κριτήριο δημιουργούνται οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Ειδικοί λέβητες.
- Λέβητες μετατρέπομενης καύσης.
- Λέβητες εναλλακτικής καύσης.

Οι ειδικοί λέβητες είναι η κατηγορία των λεβήτων, οι οποίοι σχεδιάστηκαν και μπορούν να κάψουν ένα και μοναδικό καύσιμο. Δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης άλλου καυσίμου. Οι λέβητες μετατρέπομενης καύσης είναι οι λέβητες οι οποίοι, με κάποιες τροποποιήσεις και αλλαγές εξαρτημάτων, δύναται να κάψουν και άλλα καύσιμα. Τέλος, οι λέβητες εναλλακτικής καύσης, είναι αυτοί που μπορούν να κάψουν και άλλα καύσιμα χωρίς καμιά μετατροπή. Ειδικοί λέβητες είναι στην πλειοψηφία τους οι λέβητες αερίων καυσίμων

και ειδικά οι ατμοσφαιρικοί. Λέβητες μετατροπής είναι για παράδειγμα οι περισσότεροι λέβητες πετρελαίου, οι οποίοι με αλλαγή του καυστήρα, μπορούν να κάψουν είτε φυσικό αέριο είτε συσσωματώματα (πέλλετ). Τέλος, λέβητες εναλλακτικής καύσης είναι αρκετοί λέβητες βιομάζας, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα πέρα από την βιομάζα να κάψουν κάρβουνο ή μπριγκέτες λιγνίτη χωρίς να απαιτούν καμιά μετατροπή.

Το έκτο και τελευταίο κριτήριο διαχωρισμού των λεβήτων σε κατηγορίες είναι ο **φορέας μεταφοράς της παραγόμενης από τον λέβητα θερμότητας**. Βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου δημιουργούνται πέντε κατηγορίες λεβήτων, οι εξής:

- Λέβητες ατμού χαμηλής πίεσης.
- Λέβητες ατμού υψηλής πίεσης.
- Λέβητες αέρος – αερολέβητες.
- Λέβητες νερού.
- Λέβητες υπέρθερμου νερού.

Οι λέβητες νερού χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση χώρων. Οι λέβητες ατμού βρίσκουν κυρίως βιομηχανικές και βιοτεχνικές εφαρμογές. Οι λέβητες υπέρθερμου νερού είναι μια λύση ενδιάμεση, η οποία δε βρίσκει μεγάλες εφαρμογές, η διαφορά τους με τους λέβητες νερού είναι ότι δίνουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100 βαθμών Κελσίου στο νερό, χωρίς όμως να το ατμοποιούν. Οι αερολέβητες χρησιμοποιούνται κυρίως για αποξήρανση, αλλά και για θέρμανση χώρων με μεταφορά θερμού αέρα. Μετά το τέλος του πρώτου, εισαγωγικού κεφαλαίου, θα ασχοληθούμε μόνο με λέβητες ατμού οι οποίοι έχουν μορφή παρόμοια με του λέβητα που ακολουθεί στο σχήμα 1.4.

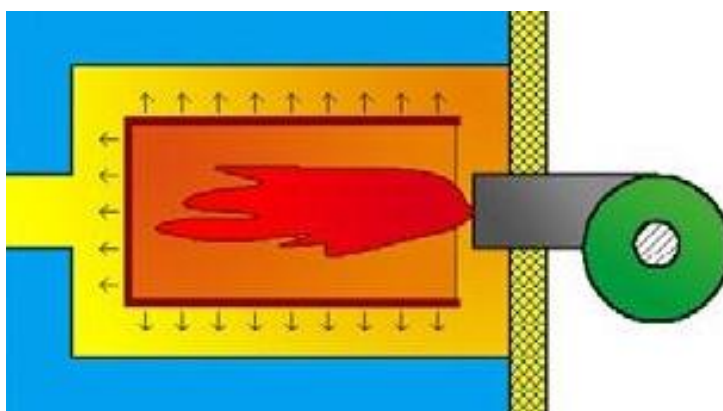


**Σχήμα 1.4: Τυπικός βιομηχανικός ατμολέβητας**

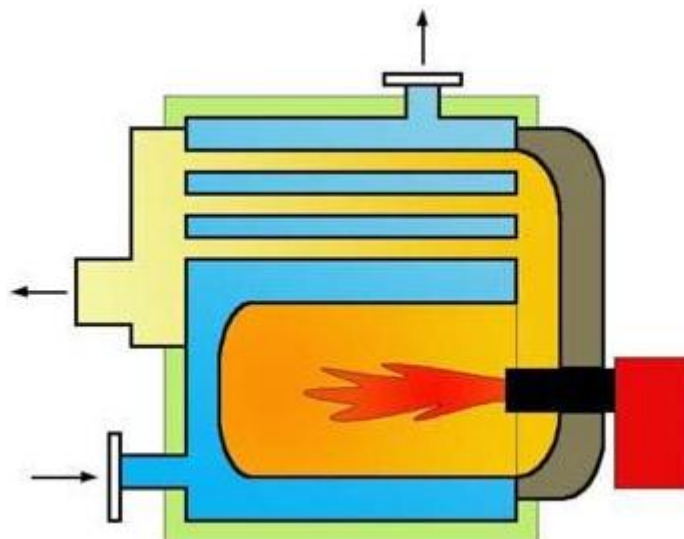
### 1.3 Κύρια μέρη τυπικού λέβητα

Όπως γίνεται αντιληπτό από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός λέβητα διαφέρει, αναλόγως του καυσίμου που χρησιμοποιεί, του θερμαντικού μέσου που φέρει, του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος, του τύπου της καύσης και της πίεσης που χρησιμοποιεί. Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε λέβητας απαιτεί την ύπαρξη διαφορετικών εξαρτημάτων, έτσι ώστε να επιτελέσει σωστά το έργο για το οποίο έχει σχεδιαστεί. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποια γενικά τεμάχια – τμήματα που δεν μπορούν να απουσιάζουν από κανένα λέβητα ή τουλάχιστον δεν μπορούν να απουσιάζουν από την πλειοψηφία των λέβητων.

Τα απαραίτητα μέρη λοιπόν ενός τυπικού λέβητα είναι τέσσερα. Το πρώτο εξ αυτών είναι ο φλογοθάλαμος. Ο φλογοθάλαμος, όπως λέει και το όνομά του, είναι ο θάλαμος στον οποίο αναπτύσσεται η φλόγα της καύσης. Η φλόγα αυτή παράγει θερμότητα και καυσαέριο. Η θερμότητα μεταφέρεται από τον θάλαμο καύσης στο θερμαντικό μέσο, είτε διαμέσου ακτινοβολίας από τα τοιχώματα του φλογοθαλάμου, είτε διαμέσου συναγωγής από την έξοδο των καυσαερίων από τον φλογοθάλαμο. Τα καυσαέρια με την σειρά τους οδηγούνται στην έξοδό τους από τον λέβητα. Σε κάποιους λέβητες πρώτα γίνεται ανάκτηση της ενέργειάς των καυσαερίων με την κίνηση τους ανάμεσα σε αυλούς, όπου λόγω συναγωγής, μεταφέρουν την θερμοκρασία τους στο θερμαντικό μέσο. Στα δύο σχήματα, 1.5 και 1.6 που ακολουθούν φαίνονται οι δύο τρόποι μεταφοράς της θερμότητας που περιγράφηκαν παραπάνω. Στο σχήμα 1.5 φαίνεται ο τρόπος αύξησης της θερμοκρασίας του θερμαντικού μέσου διαμέσου ακτινοβολίας από τον φλογοθάλαμο. Στο σχήμα 1.6 φαίνεται η διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο, διαμέσου αυλών συναγωγής που διαπερνούν τον θάλαμο του θερμαντικού μέσου.



Σχήμα 1.5: Μεταφορά θερμότητας από τον φλογοθάλαμο στο θερμαντικό μέσο διαμέσου ακτινοβολίας



**Σχήμα 1.6: Μεταφορά θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο διαμέσου αυλών συναγωγής**

Το δεύτερο μέρος ενός λέβητα είναι οι αυλοί συναγωγής. Οι αυλοί αυτοί είναι το τμήμα του λέβητα, στο οποίο διέρχεται το καυσαέριο κατά την έξοδό του από τον φλογοθάλαμο και οδηγούμενο προς την καπνοδόχο. Αυτοί συναντούνται στην βιβλιογραφία με τις ονομασίες φλογαυλοί ή αεριαυλοί ή ακόμη και καπναυλοί. Κατά την διέλευσή του από τους αυλούς, το καυσαέριο μεταφέρει θερμότητα στο θερμαντικό μέσο, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που έχει.

Το τρίτο μέρος του λέβητα είναι ο θάλαμος στον οποίο βρίσκεται το θερμαντικό μέσο. Εάν το θερμαντικό μέσο είναι το νερό, τότε έχουμε υδροθάλαμο, εάν το θερμαντικό μέσο είναι ο ατμός τότε έχουμε ατμοθάλαμο και εάν το θερμαντικό μέσο είναι ο αέρας, τότε έχουμε αεροθάλαμο. Ο χώρος αυτός διαπερνάται από τους αυλούς, στους οποίους κινούνται τα καυσαέρια και έτσι μεταφέρεται η θερμοκρασία από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο.

Το τέταρτο και τελευταίο μέρος ενός τυπικού λέβητα είναι ο καπνοθάλαμος ή καπνοσυλλέκτης. Σε αυτή την περιοχή συγκεντρώνεται το καυσαέριο, αφού έχει διέλθει από τους αυλούς, και είναι έτοιμο να εξέλθει προς την καμινάδα και να διαφύγει στο περιβάλλον. Συνήθως, ο καπνοθάλαμος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του λέβητα, έτσι ώστε να διευκολύνεται η κίνηση των καυσαερίων.

#### **1.4 Όργανα ελέγχου και ασφαλείας και πιστοποίηση λεβήτων**

Οι λέβητες, δεδομένου ότι εκτελούν καύση και χρησιμοποιούν συστήματα υψηλών πιέσεων είναι ένα αρκετά επικίνδυνο μηχάνημα. Για αυτό τον λόγο πρέπει να φέρουν κάποια συστήματα ασφαλείας και ταυτόχρονα να πιστοποιούνται μετά από ενδελεχείς ελέγχους. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε αρχικά τα όργανα ελέγχου και ασφαλείας που φέρει

ένας τυπικός λέβητας και ακολούθως θα καταγραφεί η σήμανση και η πιστοποίηση που πρέπει να φέρει ένας λέβητας, ώστε να θεωρείται αξιόπιστος.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι σημαντικότεροι κίνδυνοι που μπορεί να προκαλέσει ένας λέβητας οφείλονται στην καύση και στην υψηλή πίεση. Για αυτό και τα όργανα ελέγχου και ασφαλείας είναι κατά βάση όργανα μέτρησης θερμοκρασίας (θερμοστάτες) και πίεσης (μανόμετρα). Τα όργανα ελέγχου συνήθως βρίσκονται συγκεντρωμένα σε ένα πίνακα, ο οποίος βρίσκεται κοντά στον λέβητα, έτσι ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχός του.

Ο πρώτος θερμοστάτης που απαιτείται είναι ο θερμοστάτης του καυστήρα. Αυτός ο θερμοστάτης είναι υπεύθυνος για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμαντικού μέσου του λέβητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την ρύθμιση του καυστήρα. Όταν η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου πέσει κάτω από την επιθυμητή, δίνει εντολή στον καυστήρα να ξεκινήσει, ώστε να ανεβάσει τη θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου. Όταν όμως η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου φθάσει την απαιτούμενη τιμή, τότε δίνει εντολή στον καυστήρα να περιορίσει την λειτουργία του.

Ο δεύτερος θερμοστάτης που απαιτείται, είναι ο θερμοστάτης ασφαλείας, ο οποίος είναι προρυθμισμένος. Η δουλειά του είναι σε περίπτωση υπερθέρμανσης του θερμαντικού μέσου, σε υψηλότερη θερμοκρασία από ό,τι θα έπρεπε να το ρυθμίζει ο θερμοστάτης του καυστήρα, να διακόψει άμεσα την λειτουργία του καυστήρα. Σε αυτή την περίπτωση, εάν και εφόσον λειτουργήσει ο θερμοστάτης ασφαλείας, ο καυστήρας δεν επανέρχεται σε λειτουργία ακόμη και αν έχει πέσει αρκετά η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου. Η επανέναρξη λειτουργίας του καυστήρα σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να γίνει χειροκίνητα και αφού ελεγχθεί ο θερμοστάτης του καυστήρα για τυχόν φθορά.

Ο τρίτος θερμοστάτης που χρησιμοποιείται είναι ένας θερμοστάτης χαμηλών θερμοκρασιών, του οποίου η ύπαρξη δεν έχει σχέση με τη λειτουργία του λέβητα, αλλά με την προστασία του. Η χρήση του έχει ως σκοπό την αποφυγή του παγώματος του θερμαντικού μέσου στον λέβητα με τις καταστρεπτικές συνέπειες που θα έχει για αυτόν. Έτσι, σε περίπτωση που ανιχνεύσει χαμηλές θερμοκρασίες του θερμαντικού μέσου, δίνει εντολή έτσι ώστε ο καυστήρας να ξεκινήσει την λειτουργία του και να αυξήσει τη θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου. Ο θερμοστάτης αυτός απαιτείται, όταν ο λέβητας λειτουργεί περιοδικά, όπως για παράδειγμα σε εποχιακές βιομηχανίες ή σε εξοχικές κατοικίες.

Πέραν των θερμοστατών υπάρχουν και θερμόμετρα, τα οποία μας δίνουν ένδειξη της θερμοκρασίας κάποιων μερών του λέβητα, έτσι ώστε να μπορεί να ελέγχεται ο θερμοστάτης



εάν λειτουργεί ορθά. Τα πλέον συνηθισμένα θερμόμετρα τα συναντούμε στον θάλαμο αποθήκευσης του θερμαντικού μέσου και στην έξοδο των καυσαερίων. Έτσι γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή τη θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου του λέβητα και τη θερμοκρασία των καυσαερίων του, μεγέθη κρίσιμα για την ορθή λειτουργία του λέβητα.

Τέλος, ο λέβητας τροφοδοτείται με ένα μανόμετρο και ένα επιτηρητή πίεσης. Το μανόμετρο μας δίνει την πίεση του θερμαντικού μέσου. Ο επιτηρητής πίεσης ελέγχει αυτή την πίεση. Εάν η τιμή της είναι μικρότερη από την επιθυμητή, τότε ο επιτηρητής πίεσης δίνει εντολή στον καυστήρα να σταματήσει άμεσα τη λειτουργία του. Ο λόγος που το κάνει αυτό είναι γιατί η μείωση της πίεσης του θερμαντικού μέσου συνεπάγεται έλλειψη του θερμαντικού μέσου, άρα κινδυνεύει να καταστραφεί ο λέβητας αλλά και άλλα σημεία του δικτύου που συνδέονται με το λέβητα, όπως για παράδειγμα οι κυκλοφορητές.

Όλα αυτά τα όργανα ελέγχου και ασφαλείας πρέπει να υπάρχουν πάντοτε σε ένα λέβητα. Αυτά εξετάζονται από διάφορες αρχές πιστοποίησης, ώστε να εκδοθούν τα αντίστοιχα πιστοποιητικά για τον κάθε λέβητα. Το σημαντικότερο πιστοποιητικό αυτή την στιγμή είναι το CE, το οποίο ονομάζεται και σήμα ποιότητας. Για να αποκτηθεί διενεργούνται πολλαπλοί έλεγχοι, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών Κανονισμών Ασφαλείας. Επίσης, χρειάζεται ο λέβητας να έχει ένα αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης, σε συνδυασμό με μειωμένους ρύπους, έτσι ώστε να ικανοποιεί την τεχνική οδηγία 92/42/EE και να αποκτήσει εν τέλει την πιστοποίηση CE.

Ο ελληνικός οργανισμός τυποποίησης (ΕΛΟΤ) υποχρεώνει τους λέβητες που κατασκευάζονται εντός της Ελλάδας να αποκτούν την πιστοποίηση CE. Ταυτόχρονα, υποχρεώνει τους κατασκευαστές να αναγράφουν πάνω στο λέβητα, πέραν του σήματος και του αριθμού της πιστοποίησης και τα ακόλουθα στοιχεία:

- Όνομα κατασκευάστριας εταιρίας.
- Αριθμός κατασκευής του λέβητα και ημερομηνία κατασκευής.
- Τύπος του λέβητα.
- Ισχύς του λέβητα.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας.
- Αντίσταση καυσαερίων (αντίθλιψη)
- Ονομαστικός βαθμός απόδοσης.

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΧΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ”

#### 2.1 Ποιότητα νερού ατμολεβήτων

Οι κύριοι στόχοι που πρέπει να έχει ένας ατμολέβητας είναι τέσσερεις. Ο πρώτος είναι φυσικά η μέγιστη απόδοση της καύσης και η μέγιστη δυνατή απόδοση κατά τη μετάδοση θερμότητας. Ο δεύτερος στόχος είναι η ασφαλής λειτουργία του ατμολέβητα. Ο τρίτος στόχος είναι η ελάχιστη δυνατή απαίτηση για συντήρηση του ατμολέβητα. Ο τέταρτος στόχος είναι η επίτευξη της μέγιστης δυνατής διάρκειας ζωής για τον ατμολέβητα. Το νερό, και ειδικότερα η ποιότητά του, που υπάρχει στον ατμολέβητα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που δύναται να επηρεάσει και τους τέσσερεις παραπάνω στόχους του ατμολέβητα.

Συγκεκριμένα, η ποιότητα του νερού μπορεί να οδηγήσει σε γρήγορη φθορά του ατμολέβητα ή μπορεί να οδηγήσει σε κακής ποιότητας παραγόμενο ατμό. Το πρώτο πρόβλημα που μπορεί να δημιουργήσει νερό κακής, ποιότητας, είναι η απολέπιση των σωλήνων με αποτέλεσμα αρχικά τη μείωση της μετάδοσης θερμότητας και εν συνεχεία ακόμη και την καταστροφή των σωλήνων, με αποτέλεσμα την έκρηξη του λέβητα. Αυτό το πρόβλημα εμφανίζεται σε περίπτωση που το νερό που τροφοδοτείται στον ατμολέβητα είναι ιδιαίτερα αυξημένης σκληρότητας και δεν έχει υποστεί χημική επεξεργασία πριν την είσοδό του.

Το δεύτερο πρόβλημα που εμφανίζεται εξαιτίας της κακής ποιότητας του νερού είναι η διάβρωση, με αποτέλεσμα τη φθορά του ατμολέβητα. Η διάβρωση οφείλεται στην παρουσία μορίων οξυγόνου ή διαλυμένων αερίων στο νερό. Επίσης, παρόμοιο πρόβλημα μπορεί να δημιουργήσει το νερό, εάν έχει μικρό pH, δηλαδή είναι όξινο. Βέβαια σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε οξείδωση αλλά χημική προσβολή του λέβητα, αλλά σημασία έχει το αποτέλεσμα, το οποίο είναι ακριβώς το ίδιο, δηλαδή η παροδική φθορά του λέβητα.

Το τρίτο πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί στους ατμολέβητες εάν χρησιμοποιηθεί νερό κακής ποιότητας δεν είναι άλλο από την κακή ποιότητα ατμού που έχει αποτέλεσμα την υπερφόρτωση του λέβητα. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να μην εμφανιστεί κατευθείαν στον ατμολέβητα, αλλά δύναται να εμφανιστεί σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου του ατμού. Ιδιαίτερα είναι πιθανότερο να εμφανιστεί σε ευαίσθητα σημεία του δικτύου του ατμού, όπως για παράδειγμα στις βαλβίδες ελέγχου όπου επηρεάζει την λειτουργία τους, μειώνοντας την

χωρητικότητα τους και στο σύστημα μετάδοσης της θερμότητας όπου μέσω επικαθίσεων επηρεάζει τη μεταφορά θερμότητας λειτουργώντας ως μονωτής.

Η υπερφόρτωση του ατμολέβητα και η κακή ποιότητα ατμού οφείλονται σε δύο ανεξάρτητες αιτίες. Η πρώτη αιτία είναι το γέμισμα, όπου στην ουσία από την έξοδο του ατμού του ατμολέβητα αντί ατμός βγαίνει νερό. Αυτό οφείλεται είτε στην χρήση πολύ υψηλής στάθμης νερού μέσα στον ατμολέβητα, είτε στη λειτουργία του ατμολέβητα σε μια πίεση μικρότερη από αυτή, για την οποία έχει σχεδιαστεί, είτε στην υπερβολική ζήτηση ατμού που ο ατμολέβητας δεν μπορεί να την προσφέρει. Η δεύτερη αιτία είναι η δημιουργία αφρού, ο οποίος εμφανίζεται μεταξύ της επιφάνειας του νερού και του ατμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυσκολία του καθορισμού της στάθμης, στην οποία βρίσκεται το νερό, με αποτέλεσμα να μην δουλεύουν σωστά διάφορα όργανα που φέρει ο ατμολέβητας. Πολλές φορές, η δημιουργία αφρού μπορεί να οδηγήσει και στην κρούση του συναγερμού του ατμολέβητα, κάτι που θα κλειδώσει αυτόματα και τον καυστήρα, σταματώντας απότομα την καύση και την παραγωγή ατμού και θα απαιτεί χειροκίνητο επανακαθορισμό της λειτουργίας του.

Οι αιτίες ύπαρξης αφρού είναι πολλές. Πρώτη αιτία είναι ο μεγάλος αριθμός pH του νερού, άρα η αλκαλικότητά του. Δεύτερη αιτία είναι η διαστασιολόγηση του ατμολέβητα, με αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού από μια επιφάνεια πολύ μικρότερη, άρα την έντονη αναταραχή της. Τρίτη αιτία είναι η σκληρότητα του νερού, η οποία μπορεί αυτή καθαυτή να μην παράγει αφρό, εντούτοις εάν είναι χαμηλή, δημιουργεί μια προδιάθεση δημιουργίας ατμού. Τέταρτη αιτία είναι η ύπαρξη κολλοειδών σωματιδίων εντός του νερού του ατμολέβητα. Πέμπτη αιτία είναι η λειτουργία του ατμολέβητα υπό διαρκώς μεταβαλλόμενο φορτίο και μάλιστα μεγάλου εύρους, το οποίο δημιουργεί έντονες συνθήκες τύρβης στον ατμό και οδηγεί στη δημιουργία αφρού. Έκτη αιτία είναι η λειτουργία του ατμολέβητα σε συνθήκες πίεσης χαμηλότερες από τις σχεδιασθείσες, με αποτέλεσμα την αύξηση του ειδικού όγκου του ατμού και ως συνέπεια αυτού οι φυσαλίδες του αφρού είναι ανάλογα μεγαλύτερες.

Για να περιοριστεί το φαινόμενο της ύπαρξης του ατμού μπορούν να γίνουν αρκετές παρεμβάσεις. Μια πρώτη κατηγορία παρεμβάσεων αφορά στον τρόπο λειτουργίας του ατμολέβητα, έτσι ώστε να περιοριστούν οι αιτίες που προκαλούν τον αφρό. Η κυριότερη λειτουργική παρέμβαση που μπορεί να γίνει είναι η ομαλή λειτουργία του ατμολέβητα. Με τον όρο ομαλή λειτουργία εννοούμε φυσικά τη λειτουργία εντός του σχεδιασθέντος εύρους λειτουργίας του ατμολέβητα και υπό σταθερό φορτίο, το οποίο θα έχει μια διακύμανση μόνο της τάξεως του 2%. Μια δεύτερη λειτουργική παρέμβαση είναι η μεταβολή του ύψους του

νερού που υπάρχει στον ατμολέβητα, εάν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει αυτό. Μια τρίτη λειτουργική παρέμβαση στον ατμολέβητα είναι η μεταβολή του συστήματος ελέγχου, έτσι ώστε να μην επιτρέπει στον ατμολέβητα να πέφτει κάτω από την πίεση σχεδιασμού του, αλλά να τίθεται εκτός λειτουργίας. Ακόμη μια παρέμβαση του τρόπου λειτουργίας του ατμολέβητα έχει να κάνει με το σύστημα ελέγχου του και είναι η τροποποίησή του, έτσι ώστε να μην επιτρέπει στον ατμολέβητα να ξεκινήσει την παροχή ατμού εάν πρώτα δεν φτάσει στην μέγιστη πίεση λειτουργίας του. Μια τελευταία παρέμβαση στον τρόπο λειτουργίας του ατμολέβητα που περιορίζει δραστικά τη δημιουργία αφρού είναι η τοποθέτηση ενός συσσωρευτή ατμού ο οποίος μπορεί να δράσει καλύπτοντας φορτία αιχμής, χωρίς να χρειάζεται η εντονότερη λειτουργία του ατμολέβητα σε αυτή την περίπτωση.

Πέραν όμως από τις τροποποιήσεις στον τρόπο λειτουργίας του λέβητα υπάρχουν και άλλες παρεμβάσεις που μπορούν να περιορίσουν το φαινόμενο του ατμού. Μια από αυτές είναι η τοποθέτηση χημικών επιπροσθέτων στο νερό του ατμολέβητα και συγκεκριμένα παραγόντων αντιαφροποίησης έτσι ώστε να διασπούν τις φυσαλίδες του αφρού και να περιορίζουν αυτό το φαινόμενο. Μια άλλη παρέμβαση είναι η χρήση με χαμηλό ποσοστό διαλυμένων στερεών σωματιδίων σε αυτό, με αποτέλεσμα τη μείωση του αφρού που παράγουν. Όμως ταυτόχρονα θα μειωθεί και η αποδοτικότητα του ατμολέβητα.

## **2.2 Χημική επεξεργασία νερού ατμολεβήτων**

Από όλα τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ποιότητα του νερού του ατμολέβητα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την εύρυθμη λειτουργία του. Για αυτό το λόγο το νερό που προσάγεται στον ατμολέβητα πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Έτσι, πριν την είσοδο του στον ατμολέβητα επιδέχεται πάντα επεξεργασίας. Αυτή η επεξεργασία μπορεί να είναι είτε η αντίστροφη ώσμωση, είτε η μείωση της σκληρότητάς του με ασβέστη ή με συνδυασμό ασβέστη και σόδας, είτε η ανταλλαγή ιόντων.

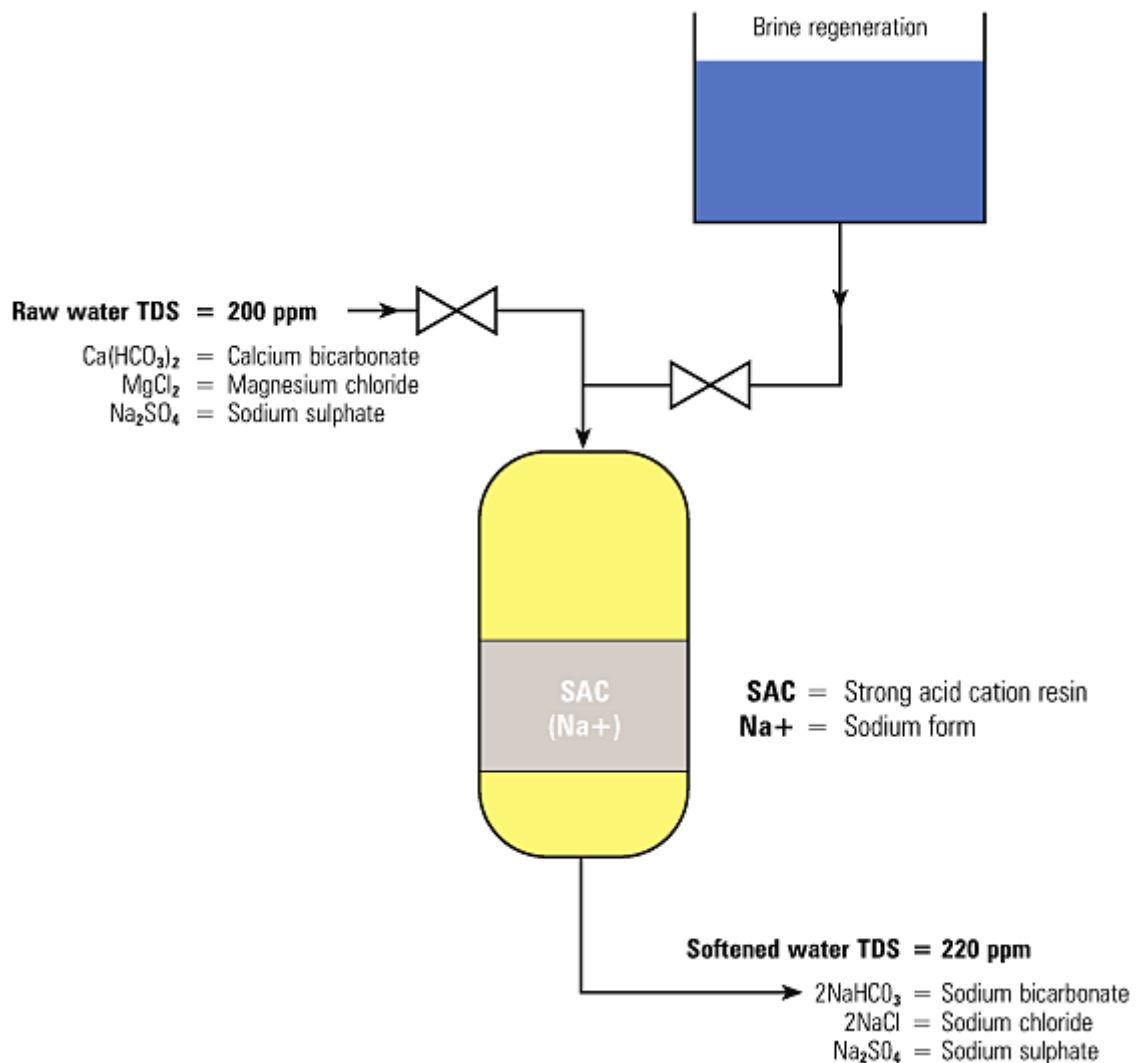
Η αντίστροφη ώσμωση είναι η επεξεργασία κατά την οποία το νερό περνάει από μια ημιαπορροφητική μεμβράνη, έτσι ώστε να διαχωριστούν οι ακαθαρσίες και τα ιζήματα που φέρει πριν εισέλθει εντός του ατμολέβητα.

Η χρήση ασβέστη οδηγεί σε αντίδραση με το ασβέστιο και το μαγνήσιο που πιθανόν να περιέχει το νερό. Έτσι, μειώνει την σκληρότητα που μπορεί να έχει, λόγω της αλκαλικότητάς του. Εάν πάλι το νερό δεν είναι αλκαλικό τότε χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός ασβέστη και σόδας, έτσι ώστε να δημιουργηθεί χημική αντίδραση και να μειωθεί και πάλι η σκληρότητα του νερού.

Η ανταλλαγή ιόντων είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος επεξεργασίας του νερού στους ατμολέβητες. Ειδικότερα, στους ατμολέβητες κελύφους που παράγουν κορεσμένο ατμό χρησιμοποιείται κατά κόρον. Είναι μια δραστική παρέμβαση κατά την οποία αλλάζει η χημική σύσταση του νερού πριν αυτό εισαχθεί στον ατμολέβητα. Για να επιτευχθεί αυτή η αλλαγή χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης ιόντων, ο οποίος είναι στην ουσία ένα αδιάλυτο υλικό, συνήθως σφαιρίδια ρητίνης διαμέτρου μεταξύ 0,5 και 1 χιλιοστών του μέτρου. Τα σφαιρίδια αυτά είναι πορώδη και υδρόφιλα. Έτσι, έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν το νερό. Εντός του σφαιριδίου, το νερό συναντά διάφορα ανταλλάξιμα ιόντα τα οποία συνδέονται με αντίθετου φορτίου ιοντικές ομάδες του σφαιριδίου. Αυτά τα ιόντα μπορούν να αντικατασταθούν από ιόντα παρόμοιου φορτίου που προέρχονται από τα άλατα που διαλύει το νερό που περιβάλλει τα σφαιρίδια. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αλλαγή της χημικής σύστασης του νερού. Οι συνήθεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή ιόντων στους ατμολέβητες είναι τρεις, η ανταλλαγή της βάσης του νερού με μια μικρότερης σκληρότητας, η απακαλίωση του νερού και η αφαλάτωση του νερού. Στις επόμενες παραγράφους θα δούμε αναλυτικότερα αυτές τις τρεις διαδικασίες.

### **2.2.1 Αλλαγή βάσης**

Η αλλαγή βάσης του νερού είναι η απλούστερη μέθοδος ανταλλαγής ιόντων, για αυτό βρίσκει και την μεγαλύτερη χρήση από τις τρεις μεθόδους που θα περιγραφούν. Τα σφαιρίδια ρητίνης που χρησιμοποιούνται αρχικά ενεργοποιούνται – φορτίζονται από το πέρασμα νερού με διάλυμα αλατιού σε ποσοστό 7 έως και 12%. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ρητίνη πλέον να είναι πλούσια σε ιόντα νατρίου (βασικό συστατικό του αλατιού). Ακολούθως το νερό διέρχεται από τη ρητίνη που προορίζεται για την τροφοδοσία του ατμολέβητα και χρειάζεται να μειωθεί η σκληρότητά του. Τότε λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή ιόντων. Τα ιόντα μαγνησίου και ασβεστίου που εμπεριέχει το νερό εκτοπίζουν τα ιόντα νατρίου των σφαιριδίων και λαμβάνουν την θέση τους σε αυτά. Αντίστοιχα το νερό πλέον έχει πολύ μικρότερες ποσότητες μαγνησίου και ασβεστίου και είναι πολύ πιο πλούσιο σε άλατα νατρίου. Το κέρδος μας είναι ότι κατά την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του νερού, τα άλατα του νατρίου δεν αποχωρίζονται από αυτό (όπως θα συνέβαινε με τα άλατα μαγνησίου και ασβεστίου) έτσι δεν δημιουργούν πρόβλημα φθοράς στον ατμολέβητα καθώς συνεχίζουν να παραμένουν διαλυμένα στο νερό συνεχώς. Η διαδικασία της αλλαγής βάσης και της μείωσης της σκληρότητας του νερού φαίνεται στο σχήμα 3.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.1: Χημική διαδικασία ανταλλαγής ιόντων με στόχο την μείωση της σκληρότητας του νερού που προσάγεται στον ατμολέβητα

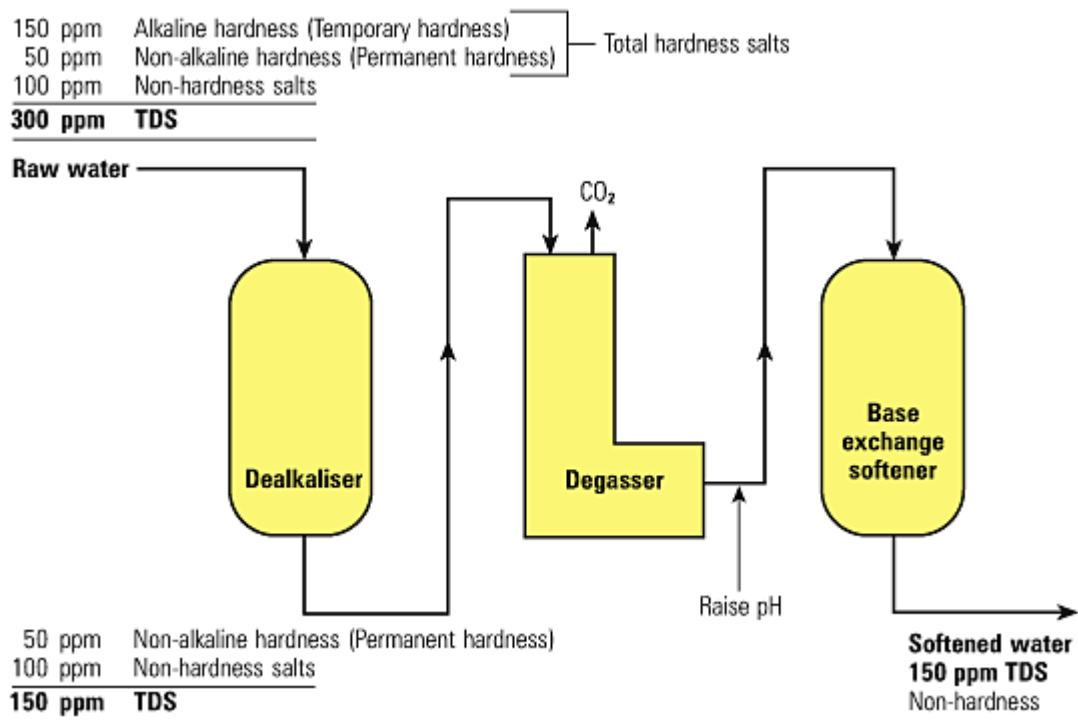
Συμπερασματικά, κατά την ανταλλαγή ιόντων για την μείωση της σκληρότητας του νερού όλα τα ιόντα που του προσδίδουν σκληρότητα ανταλλάσσονται από ιόντα νατρίου. Αυτή η αλλαγή δεν επιφέρει καμιά αλλαγή σε άλλα χαρακτηριστικά του νερού όπως για παράδειγμα τον αριθμό των διαλυμένων στερεών εντός αυτού ή το pH του τα οποία παραμένουν αναλλοίωτα. Το μόνο που συμβαίνει με αυτή τη διαδικασία είναι η αλλαγή αλάτων, τα οποία πιθανόν να δημιουργήσουν προβλήματα φθοράς στον ατμολέβητα με άλατα, τα οποία είναι αβλαβή καθώς θα παραμείνουν διαλυμένα στο νερό ακόμη και στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες λειτουργίας του ατμολέβητα.

Αυτή η λύση ανταλλαγής ιόντων είναι σχετικά χαμηλού κόστους, αρκετά αξιόπιστη και μπορεί να επεξεργάζεται το νερό εισόδου στους ατμολέβητες για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να χρειάζεται η αλλαγή των σφαιριδίων ρητίνης συχνά. Γενικά είναι μια αξιόπιστη λύση μείωσης της σκληρότητας του νερού προσαγωγής του ατμολέβητα, η οποία

μπορεί να έχει επιτυχία, προσωρινή όμως, ακόμη και σε έντονα αλκαλικό νερό εάν και εφόσον ο ατμός, μετά την υγροποίησή του επιστρέφει στον ατμολέβητα ως νερό για να ξαναατμοποιηθεί. Εάν ο ατμός δεν επιστρέφει πίσω, τότε δεν είναι τόσο αποδοτική αυτή η μέθοδος για έντονα αλκαλικό νερό. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιηθεί η απαλκαλίωση που ακολουθεί στην επόμενη υποενότητα.

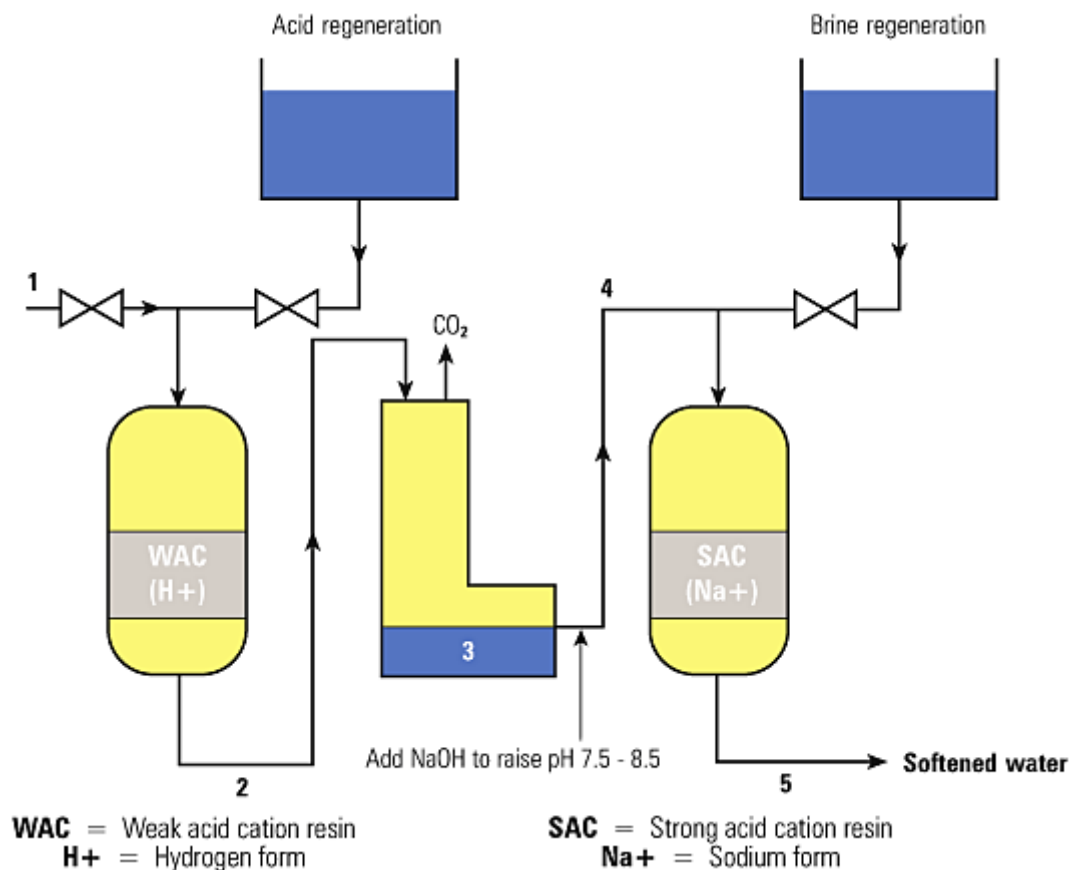
### 2.2.2 Απαλκαλίωση

Η απαλκαλίωση είναι η χημική διαδικασία που έρχεται να καλύψει το μειονέκτημα της αλλαγής βάσης δηλαδή το ότι δεν υπάρχει μείωση των διαλυμένων στο νερό στερεών και της αλκαλικότητας του νερού. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα 2.2 που ακολουθεί παρακάτω.



Σχήμα 2.2: Χημική διαδικασία απαλκαλίωσης του νερού που προσάγεται στον ατμολέβητα <sup>[14]</sup>

Για την απαλκαλίωση του νερού χρησιμοποιείται ο απαλκαλιωτής, τη διάταξη του οποίου βλέπουμε στο σχήμα 2.2. Αυτός είναι ένας από τους πλέον χρησιμοποιούμενους απαλκαλιωτές. Παρατηρείται ότι ο εναλλάκτης ιόντων που χρησιμοποιήθηκε για την αλλαγή της βάσης που είδαμε στην αμέσως προηγούμενη ενότητα είναι μόνο ένα τμήμα του απαλκαλιωτή, το τελευταίο.



Σχήμα 2.3: Απαλκαλιωτής

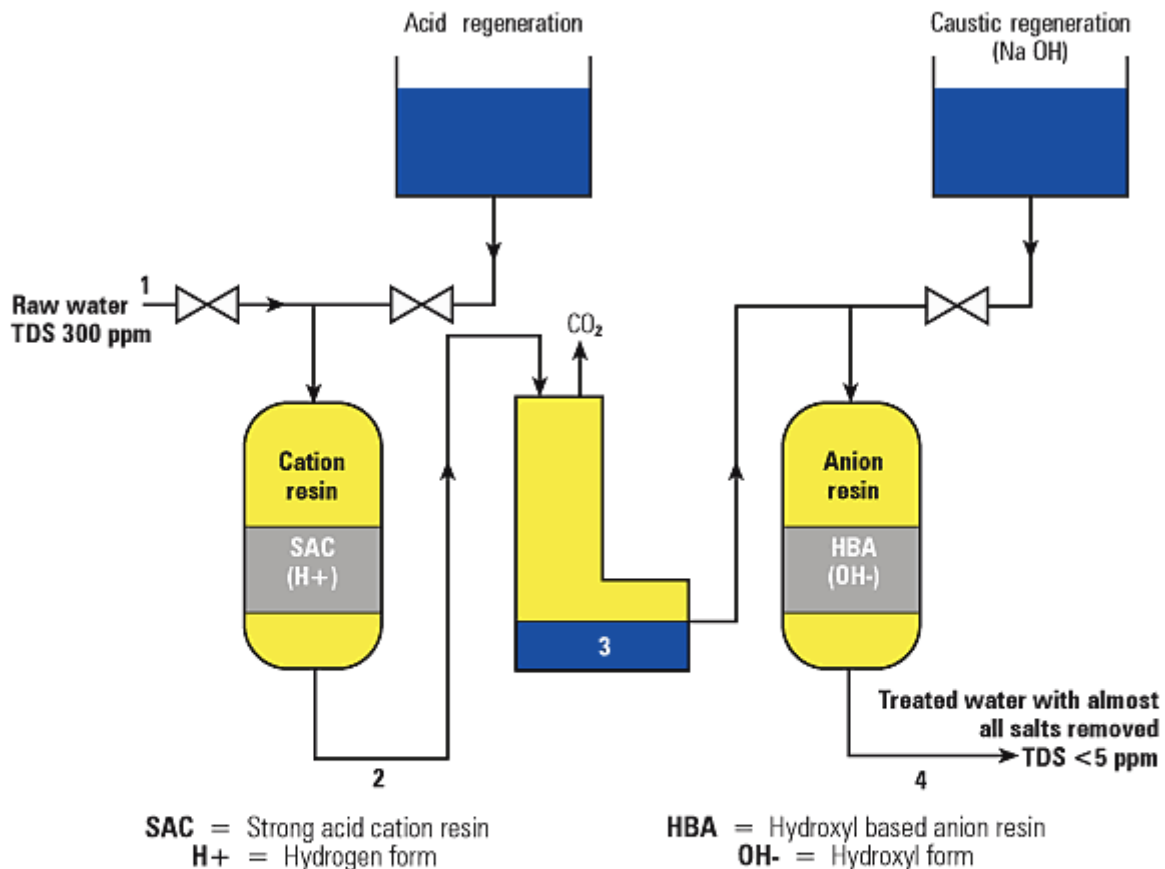
Όπως φαίνεται και από το σχήμα χρησιμοποιούνται δύο εναλλάκτες ιόντων, ένας πλούσιος σε υδρογόνο και ένας δεύτερος πλούσιος σε νάτριο. Ταυτόχρονα στην όλη διαδικασία προστίθεται και οξύ έτσι ώστε να ελεγχθεί το pH του νερού προσαγωγής στον ατμολέβητα. Η χρήση της απαλκαλίωσης θα μειώσει προσωρινά την αλκαλικότητα και την σκληρότητα που αυτή συνεπάγεται του νερού. Χρησιμοποιείται κατά κόρον όταν θα χρησιμοποιηθεί ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του νερού που θα ατμοποιηθεί και δεν θα γυρίσει πίσω στον ατμολέβητα. Έτσι κάθε φορά θα εισέρχονται μεγάλες ποσότητες νερού από την παροχή, με αποτέλεσμα να είναι χρήσιμη η μονάδα απαλκαλίωσής του.

### 2.2.3 Αφαλάτωση

Η τελευταία χημική διεργασία επεξεργασίας του νερού που αφορά στην αλλαγή ιόντων είναι η αφαλάτωση, η οποία παρουσιάζεται διαγραμματικά στο σχήμα 2.4 της επόμενης σελίδας. Η διαδικασία της αφαλάτωσης απομακρύνει οριστικά τα άλατα από το νερό, δεν τα ανταλλάζει με άλλης μορφής άλατα. Κατά την διεργασία αυτή, το νερό περνάει από εναλλάκτες ανιόντων και κατιόντων, οι οποίοι αφαιρούν όλα τα άλατα και δημιουργείται εντέλει νερό αρίστης ποιότητας. Αυτό φαίνεται και στον πίνακα του κάτω μέρους της



εικόνας που δείχνει τη σύσταση του νερού σε κάθε σημείο εντός της διαδικασίας αφαλάτωσής του.



1	2	3	4
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$2\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}$
$\text{MgCl}_2$	$2\text{HCl}$	$2\text{HCl}$	$\text{H}_2\text{O}$
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$
$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{H}_2\text{SiO}_4$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$
pH 7.6	pH 2.0 – 2.5	pH 2.0 – 2.5	pH 8.5 – 9.0

Σχήμα 2.4: Χημική διαδικασία αφαλάτωσης του νερού που προσάγεται στον λέβητα

Η αφαλάτωση χρησιμοποιείται κυρίως σε ατμολέβητες πολύ υψηλής πίεσεως όπως για παράδειγμα είναι οι ατμολέβητες που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή. Είναι μια υψηλού κόστους χημική επεξεργασία του νερού, για αυτό και χρησιμοποιείται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπως η προαναφερθείσα. Πριν την χρήση της αφαλάτωσης, το νερό περνάει από μια προεπεξεργασία, όπως για παράδειγμα το φιλτράρισμα του νερού, ώστε να μειωθούν τα αιωρούμενα στερεά που φέρει, γιατί αλλιώς θα κορεστούν πολύ γρήγορα οι εναλλάκτες ιόντων, θα απαιτούν σύντομα αντικατάσταση και θα αυξηθεί πολύ το λειτουργικό κόστος. Εν κατακλείδι τοποθετούνται οι πίνακες 2.1 και 2.2. Ο πρώτος δείχνει την τελική ποιότητα του νερού, αναλόγως της χημικής επεξεργασίας που θα υποστεί. Ο δεύτερος δίνει το κόστος ανά είδος χημικής επεξεργασίας του νερού.

Process	Hardness ppm		Non-hardness salts ppm	TDS ppm
	Alkaline	Non-alkaline		
Raw water	200	50	60	310
Lime	30	50	58	138
Lime/soda	30	0	108	138
Lime/base exchange	5	0	133	138
Base exchange	5	0	255	260
Dealkalisation	5	50	60	115
Dealkalisation + base exchange	5	0	110	115
Demineralisation	1	0	2	3
Reverse osmosis	20	5	6	*

\* TDS rejection is typically 98% - 99% when the membranes are as new.

Πίνακας 2.1: Τελική ποιότητα του νερού αναλόγως της χημικής επεξεργασίας που δέχεται

Type of system	Comparative cost scale	
	Capital cost	Running cost
Base exchange	1	1
Dealkalisation + base exchange	3	3
Demineralisation	15	12

Πίνακας 2.2: Κόστος επένδυσης και λειτουργικό κόστος της κάθε μιας εκ των τριών επεξεργασιών ανταλλαγής ιόντων

#### 2.2.4 Απαιτούμενη χημική επεξεργασία ανά τύπο ατμολέβητα

Η χημική επεξεργασία που απαιτείται διαφέρει αναλόγως του τύπου του ατμολέβητα που χρησιμοποιείται. Στους ατμολέβητες με φλογαυλούς γενικά απαιτείται προσαγωγή νερού σχετικά χαμηλής ποιότητας, για αυτό χρησιμοποιούνται απλές και φθηνές διαδικασίες χημικής επεξεργασίας του νερού όπως για παράδειγμα η χρήση μιας απλής εναλλαγής βάσης. Σε περιπτώσεις όμως που τα διαλυόμενα στερεά στο νερό είναι σε πολύ υψηλό αριθμό ή η επιστροφή του συμπυκνωμένου πλέον ατμού πίσω στον λέβητα είναι μικρότερη από το 40%, απαιτείται η προσαγωγή συνεχώς πολύ μεγάλου όγκου νερού. Τότε χρησιμοποιείται μια μονάδα απαλκαλίωσης του νερού. Πριν από αυτή τη μονάδα χρησιμοποιείται για προεπεξεργασία συνδυασμός ασβέστη και σόδας, όπως αυτός περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Οι ατμολέβητες όμως που φέρουν υδραυλούς έχουν απαιτήσεις για πολύ καλύτερη ποιότητα νερού προσαγωγής και ειδικότερα θέλουν πολύ μικρότερο αριθμό διαλυόμενων στερεών στο νερό προσαγωγής. Οι απαιτήσεις είναι υψηλότερες γιατί ακόμη και μικρές ποσότητες στερεών επικάθονται στους σωλήνες και μειώνουν κατά πολύ την απόδοση των ατμολεβήτων. Η μείωση στην απόδοση τους μάλιστα είναι τόσο μεγάλη, που οδηγεί σε

οικονομική σκοπιμότητα την επένδυση σε μια μονάδα χημικής επεξεργασίας του νερού προσαγωγής όπου εν τέλει συνήθως επιλέγεται μια μονάδα απαλκαλίωσης ή ακόμη και μια μονάδα αφαλάτωσης.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας μας οδηγεί σε μερικά πολύ σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τους ατμολέβητες και με την ποιότητα του νερού με την οποία πρέπει αυτοί να τροφοδοτούνται. Τα συμπεράσματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Οι ατμολέβητες είναι μηχανήματα πολύ σημαντικά για την σύγχρονη βιομηχανική λειτουργία.
- Ανήκουν στην κατηγορία των λεβήτων στους οποίους όμως το θερμαντικό μέσο είναι ο ατμός.
- Υπάρχουν πολλά είδη ατμολεβήτων, τα οποία όμως μπορούν να ενταχθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στους ατμολέβητες με φλογαυλούς και στους ατμολέβητες με υδραυλούς.
- Οι ατμολέβητες με φλογαυλούς είναι πιο απλής κατασκευής από τους ατμολέβητες με υδραυλούς, για αυτό και χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα αρχικά αυτοί. Παράγουν μεγάλους όγκους ατμού, σε σχετικά χαμηλές πιέσεις και καταλαμβάνουν πολύ μεγάλη έκταση. Έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε ποιότητα νερού και γενικά έχουν πιο σταθερή λειτουργία σε διακύμανση φορτίων, εξαιτίας του μεγάλου όγκου νερού που φέρουν.
- Οι ατμολέβητες με υδραυλούς είναι πιο σύγχρονοι, είναι πιο αποδοτικοί, μπορούν να δώσουν τεράστια γκάμα πιέσεων και παροχών για αυτό το λόγο και επικρατούν στις μέρες μας. Η έκταση που απαιτούν είναι πολύ μικρότερη από τους ατμολέβητες με φλογαυλούς. Έχουν μεγάλες απαιτήσεις ποιοτικού νερού για να έχουν αξιόπιστη λειτουργία με σταθερή απόδοση. Εμφανίζουν πιο ασταθή λειτουργία όταν δέχονται κυμαινόμενα φορτία.
- Η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται στους ατμολέβητες καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και την απόδοσή τους.
- Νερό κακής ποιότητας μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη φθορά τον ατμολέβητα ή σε λειτουργία μη επιθυμητή. Ταυτόχρονα μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή ατμού χαμηλότερης ποιότητας από την επιθυμητή.
- Λύση στα προβλήματα κακής ποιότητας του νερού δίδει η χημική του επεξεργασία πριν την προσαγωγή του στους ατμολέβητες.
- Οι κυριότερες χημικές επεξεργασίες που επιδέχεται το νερό είναι η αντίστροφη όσμωση, η χρήση ασβέστη και σόδας για την μείωση της σκληρότητάς του και η χρήση εναλλακτών ιόντων για την αλλαγή της σύστασής του.

- Η πλέον αποδοτική μέθοδος είναι η εναλλαγή ιόντων και συγκεκριμένα η υποκατηγορία της, η αφαλάτωση, η οποία δίδει ως τελικό αποτέλεσμα νερό αρίστης ποιότητας.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Χυτοσιδηροί λέβητες της εταιρίας Viessmann.....	9
Σχήμα 1.2: Χαλύβδινοι λέβητες της εταιρίας Viessmann.....	10
Σχήμα 1.3: Λέβητας βιομάζας .....	11
Σχήμα 1.4: Τυπικός βιομηχανικός ατμολέβητας .....	13
Σχήμα 1.5: Μεταφορά θερμότητας από τον φλογοθάλαμο στο θερμαντικό μέσο διαμέσου ακτινοβολίας .....	14
Σχήμα 1.6: Μεταφορά θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο διαμέσου αυλών συναγωγής.....	15
Σχήμα 2.1: Χημική διαδικασία ανταλλαγής ιόντων με στόχο την μείωση της σκληρότητας του νερού που προσάγεται στον ατμολέβητα .....	23
Σχήμα 2.2: Χημική διαδικασία απαλκαλίωσης του νερού που προσάγεται στον ατμολέβητα .....	24
Σχήμα 2.3: Απαλκαλιωτής.....	25
Σχήμα 2.4: Χημική διαδικασία αφαλάτωσης του νερού που προσάγεται στον λέβητα .....	26

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. G. F. (Jerry) Gilman, «Boiler Control Systems Engineering», The Instrumentations, Systems and Automation Society – ISA, USA, 2005.
2. K. Heselton, «Boiler Operator’s Handbook», Marcel Dekket Inc., USA, 2005
3. A. L. Kohan, «Boiler Operator’s Guide», 4<sup>η</sup> Έκδοση, McGraw – Hill, USA, 1998.
4. R. L. Vandagriff, «Practical Guide to Industrial Boiler Systems», Marcel Dekker Inc., USA, 2001.
5. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, «Κεντρική Θέρμανση». Λήψη από:  
[http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/kentriki\\_thermans.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/kentriki_thermans.pdf) (10/10/2012)
6. Π. Φαντάκης, «Χαλύβδινοι λέβητες κεντρικής θέρμανσης», Άρθρο στο περιοδικό θερμοϋδραυλικός. Λήψη από:  
<http://users.sch.gr/fantakis/ARTHRA/234.pdf> (10/10/2012)
7. Π. Φαντάκης «Λέβητες κεντρικών θερμάνσεων», Άρθρο στο περιοδικό θερμοϋδραυλικός. Λήψη από:  
<http://users.sch.gr/fantakis/ARTHRA/LEVITES-KENTRIKVN-THERM.pdf>  
(10/10/2012)
8. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, «Οδηγός Καύσης Λεβήτων και Κλιβάνων - Φούρνων». Λήψη από:  
[http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS\\_LEBHOTES.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_LEBHOTES.pdf) (10/10/2012)
9. Α. Κ. Μιχόπουλος, «Σύγχρονοι Λέβητες: Είδη, Εγκατάσταση, Συντήρηση και Επιθεώρηση», Άρθρο στο περιοδικό Τεχνικές Σελίδες. Λήψη από:  
<http://ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2011-10-67.pdf> (10/10/2012)
10. [http://www.monachos.gr/forum/topic.asp?TOPIC\\_ID=1562](http://www.monachos.gr/forum/topic.asp?TOPIC_ID=1562) (10/10/2012)
11. <http://www.allaboutenergy.gr/Levites.html> (10/10/2012)
12. <http://en.wikipedia.org/wiki/Boiler> (10/10/2012)
13. [http://en.wikipedia.org/wiki/Boiler\\_%28power\\_generation%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Boiler_%28power_generation%29) (10/10/2012)
14. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/water-for-the-boiler.asp> (10/10/2012)
15. <http://www.physicon.gr/?q=node/29> (10/10/2012)
16. <http://www.physicon.gr/?q=node/26> (10/10/2012)
17. [http://levitostasio.gr/manuals/heatingcontrol/Steam\\_Basics\\_Armstrong.pdf](http://levitostasio.gr/manuals/heatingcontrol/Steam_Basics_Armstrong.pdf)  
(10/10/2012)

18. <http://eco Hause-green-energy.skrou tzstore.gr/p.LEVITAS-VIOMAZAS-TF-35-300-KW.485900.html> (10/10/2012)
19. [http://www.thermossol.gr/pop\\_print.php?lang=1&wh=1&the lid=3&theid=3&open l=3&open2=&thepid=2&thepid=2](http://www.thermossol.gr/pop_print.php?lang=1&wh=1&the lid=3&theid=3&open l=3&open2=&thepid=2&thepid=2) (10/10/2012)
20. <http://www.twaintimes.net/boat/sbpage4.html> (12/10/2012)
21. <http://www.twaintimes.net/boat/sbpage4a.html> (12/10/2012)
22. <http://www.twaintimes.net/boat/sbpage4b.html> (12/10/2012)
23. <http://www.twaintimes.net/boat/sbpage4c.html> (12/10/2012)
24. <http://www.twaintimes.net/boat/sbpage4d.html> (12/10/2012)
25. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/miscellaneous-boiler-types-economisers-and-superheaters.asp> (14/10/2012)
26. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/shell-boilers.asp> (14/10/2012)
27. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/miscellaneous-boiler-types-economisers-and-superheaters.asp> (14/10/2012)
28. <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/water-tube-boilers.asp> (14/10/2012)