

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ, ΛΑΡΙΣΑ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ»

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΣΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΛΑΡΙΣΑ, ΜΑΙΟΣ 2022

Υπεύθυνη Δήλωση

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών του ΠΜΣ Πλήρους Φοίτησης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας «Ενεργειακές Τεχνολογίες και Συστήματα Αυτοματισμών» έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος και το κείμενο είναι γραμμένο με τα δικά μου λόγια και δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής από τρίτες πηγές. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο».

Ο Δηλών

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική θα γίνουν προτάσεις για τον εντοπισμό ευκαιριών ενεργειακής βελτίωσης σε καίρια σημεία μιας βιομηχανίας. Μία από αυτές αφορά ένα από τα πιο βασικά τμήματα μιας βιομηχανίας τον ατμολέβητα. Πιο συγκεκριμένα αναφορικά με αυτόν θα γίνει εξέταση για την αλλαγή καύσιμου από μαζούτ σε φυσικό αέριο. Θα γίνει η κατάλληλη επιλογή καυστήρα καθώς θα υπολογιστεί και η νέα θερμοκρασία καυσαερίων κατά την έξοδο από τον ατμοπαραγωγό έτσι ώστε να γίνουν προτάσεις για την ενεργειακή αξιοποίηση της πλεονάζουσας θερμότητας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για το υψηλό ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα. Γίνεται μια ιστορική ανάδρομη για την εξέλιξη της ενέργειας καθώς και για το πόσο σημαντική είναι η εξοικονόμηση ενέργειας στην σημερινή εποχή. Επίσης αναφέρεται η ενεργειακή πολιτική για να γίνει η Ευρώπη κλιματικά η πρώτη ουδέτερη ήπειρος έως το 2050 και οι στόχοι που έχει θέσει η Ελλάδα για την υποστήριξη αυτού του έργου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι κύριοι κλάδοι μιας βιομηχανίας και αναλύονται οι ευκαιρίες που υπάρχουν για να γίνουν άμεσες επεμβάσεις με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας σε κάθε κλάδο.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την δομή ενός βιομηχανικού συστήματος ατμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται η περιγραφή της βιομηχανικής μονάδας παρουσιάζοντας το ποσό αναγκαίο είναι το σύστημα ατμού για την παραγωγική διαδικασία. Γίνεται η πλήρης ανάλυση της μονάδας του ατμοπαραγωγού όπου επρόκειτο για έναν φλογοαυλωτό ατμολέβητα παροχής ατμού 12000 kg/h που χρησιμοποιεί καύσιμο το μαζούτ. Επίσης γίνεται διαχωρισμός και ανάλυση κάθε υποσυστήματος του λεβητοστασίου.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποσκοπεί στην βιβλιογραφική ανασκόπηση για τους βιομηχανικούς καυστήρες την κατηγοριοποίηση τους καθώς και το καύσιμο που χρησιμοποιούν οι ατμολέβητες. Επιπλέον αναφέρονται τα πλεονεκτήματα του φυσικού αερίου έναντι των συμβατικών υγρών καυσίμων.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνονται αναλυτικοί υπολογισμοί για την επιλογή κατάλληλου καυστήρα φυσικού αερίου και υπολογίζεται η νέα θερμοκρασία καυσαερίων κατά την έξοδο του ατμοπαραγωγού.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνονται προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον ατμοπαραγωγό με σκοπό την αναβάθμιση του βαθμού απόδοσης.

Abstract

In this thesis, proposals will be made to identify energy improvement opportunities in key areas of an industry. One of them concerns one of the most basic parts of an industry the steam boiler. More specifically with regard to this, an examination will be made to change the fuel from fuel oil to natural gas. A suitable choice of burner will be made as well as the new exhaust gas temperature at the exit of the steam generator will be calculated in order to make proposals for the energy recovery of the surplus heat.

In the first chapter, the high rate of energy consumption in the industrial sector is discussed. A historical retrospective is given on the evolution of energy and how important energy conservation is in today's world. Also mentioned is the energy policy to make Europe the first climate neutral continent by 2050 and the targets that Greece has set to support this project.

The second chapter analyses the main sectors of an industry and discusses the opportunities that exist to make immediate interventions to save energy in each sector.

Chapter three includes the structure of an industrial steam system.

In the fourth chapter the description of the industrial plant is first given, showing how much steam system is necessary for the production process. A complete analysis of the steam generator unit is made where it was a flame retardant steam boiler with a steam flow rate of 12000 kg/h using fuel fuel oil. Also, each subsystem of the boiler house is separated and analyzed.

The fifth chapter aims to review the literature on industrial burners their categorization and the fuel used by the steam boilers. In addition, the advantages of natural gas over conventional liquid fuels are mentioned.

In chapter six, detailed calculations are made for the selection of a suitable natural gas burner and the new flue gas temperature at the outlet of the steam generator is calculated.

In chapter seven, energy saving proposals are made in the steam generator to improve the efficiency.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^Ο : ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	7
1.1	Εξέλιξη - Μορφές της ενέργειας.....	7
1.2	Εξοικονόμηση ενέργειας.....	8
1.3	Στόχοι Ενεργειακής Πολιτικής.....	8
1.3.1	Ευρωπαϊκοί Στόχοι.....	8
1.3.2	Εθνικοί Στόχοι.....	9
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^Ο : ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....	11
2.1	Εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία.....	11
2.1.1	Βιομηχανικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	13
2.1.2	Ανάκτηση θερμότητας.....	16
2.1.3	Θερμομόνωση των σωληνώσεων - δεξαμενών.....	19
2.1.4	Συστήματα πεπιεσμένου αέρα.....	21
2.1.5	Βιομηχανικά συστήματα ατμού.....	24
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^Ο : ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΥ.....	26
3.1	Λέβητας.....	26
3.2	Δίκτυα ατμού.....	28
3.2.1	Ατμοπαγίδες.....	29
3.3	Τελικοί καταναλωτές.....	31
3.4	Σύστημα επιστροφής συμπυκνωμάτων.....	31
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^Ο : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	32
4.1	Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας.....	32
4.2	Περιγραφή μονάδας ατμοπαραγωγής.....	34
4.2.1	Σύστημα τροφοδοσίας νερού.....	35
4.2.2	Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	38
4.2.3	Σύστημα μεταφοράς ατμού.....	39
4.2.4	Σύστημα μεταφοράς καυσαερίων.....	41
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^Ο ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ.....	43
5.1	Καυστήρας Γενικά.....	43
5.2	Κατηγοριοποίηση Καυστήρων.....	43
5.3	Καύσιμα που χρησιμοποιούν οι ατμολέβητες.....	45
5.3.1	Θερμογόνος δύναμη καυσίμων.....	45
5.3.2	Πετρέλαιο.....	46

5.3.3	Υγραέριο.....	46
5.3.4	Φυσικό αέριο.....	47
5.3.5	Πλεονεκτήματα φυσικού αερίου έναντι των συμβατικών υγρών καυσίμων.....	48
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	50
6.1	Επιλογή καυστήρα μαζούτ.....	50
6.2	Επιλογή καυστήρα φυσικού αερίου.....	54
6.3	Ανάλυση απωλειών ατμοπαραγωγού.....	57
6.4	Υπολογισμός θερμοκρασίας καυσαερίων κατά την έξοδο από τον ατμοπαραγωγό.....	58
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΥ.....	66
7.1	Βελτίωση της αποδοτικότητας της καύσης.....	66
7.2	Ο προγραμματισμός του φορτίου.....	67
7.3	Βελτίωση της επεξεργασίας του νερού του λέβητα.....	67
7.4	Μέθοδοι ανάκτησης θερμότητας.....	68
7.4.1	Ανάκτηση θερμότητας καυσαερίων με οικονομιτή.....	68
7.4.2	Ανάκτηση θερμότητας καυσαερίων με σύστημα προθέρμανσης αέρα καύσης.....	68
7.5	Τοποθέτηση επιβραδυντών καυσαερίων.....	68
7.5.1	Ανάκτηση θερμότητας από στρατσώνα.....	71
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	76
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	78

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στον βιομηχανικό τομέα γίνεται η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας κατά τελικό καταναλωτή, καταναλώνοντας το 54% της ενέργειας που παραδόθηκε στο παγκόσμιο σύνολο. Το μείγμα και η ένταση των καυσίμων που καταναλώνεται στον βιομηχανικό τομέα ποικίλει από κάθε περιοχή και χώρα, αυτό εξαρτάται από την οικονομική δραστηριότητα και την τεχνολογική της εξέλιξη.

Το είδος και η ένταση κατανάλωσης των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ποικίλλει ανάλογα με την ήπειρο ή τη χώρα κατανάλωσης, με το επίπεδο και το είδος της οικονομικής δραστηριότητας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η ενέργεια χρησιμοποιείται στον βιομηχανικό τομέα για ένα ευρύ φάσμα σκοπών, όπως στην επεξεργασία και στην συναρμολόγηση, στον ατμό και την συμπαραγωγή θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού, στην θέρμανση και στον κλιματισμό κτιρίων. Η κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα περιλαμβάνει βασικές χημικές πρώτες ύλες. Οι πρώτες ύλες φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γεωργικών χημικών ουσιών. Τα υγρά φυσικού αερίου και τα προϊόντα πετρελαίου χρησιμοποιούνται, μεταξύ άλλων χρήσεων, για την παρασκευή οργανικών χημικών και πλαστικών.

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών η ζήτηση σε βιομηχανικά προϊόντα έχει αυξηθεί σημαντικά, μαζί με αυτήν αυξήθηκε και η κατανάλωση ενέργειας, καθώς και οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα (Πέρδιος, Σ., 2007α).

1.1 Εξέλιξη - Μορφές της ενέργειας

Η ιστορία της εξέλιξης της ενέργειας ακολούθησε τρία βασικά στάδια τα οποία περιλαμβάνουν την μετάβαση από την μυϊκή δύναμη ή ανθρώπινη ενέργεια στην χρήση της ζωικής ενέργειας και τελικά την αξιοποίηση των φυσικών μορφών ενέργειας οι οποίες είναι:

- Στερεά καύσιμα
- Αέρια καύσιμα
- Υγρά καύσιμα
- Πυρηνική ενέργεια
- Υδροηλεκτρική
- Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

Η κατηγοριοποίηση των μορφών ενέργειας είναι οι εξής :

- Πρωτογενής μορφή ενέργειας είναι η ενέργεια που συναντάται στους φυσικούς φορείς (γαιάνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο)
- Δευτερογενής μορφή ενέργειας είναι η μετατροπή των πρωτογενών πηγών ενέργειας λόγω των αδυναμιών που εμφανίζουν στην αυτούσια χρήση τους. Για παράδειγμα η μετατροπή του αργού πετρελαίου σε βενζίνη, η καύση του γαιάνθρακα για την παράγωγή ατμού και στην συνέχεια την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Petrecca, G., 1993).

1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας

Με τον όρο εξοικονόμηση ενέργειας διατυπώνεται εννοιολογικά ο τρόπος με τον οποίον θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί λιγότερο ποσό ενέργειας σε σχέση με το ήδη υπάρχον ποσό που χρησιμοποιείται. Τα βασικά οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας είναι η οικονομική αποδοτικότητα που εγγυάται και η καθαρή μορφή της, η οποία έχει πολλαπλά οφέλη για το περιβάλλον, ενώ είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη και μπορεί να εφαρμοστεί στους τομείς που απορροφούν το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας σε κάθε χώρα (βιομηχανικό - οικιακό τομέα και μεταφορές). Η παραγωγή ενέργειας απαιτεί την αξιοποίηση φυσικών πόρων, ελαττώνοντας το ποσό ενέργειας, και βοήθα στην μελλοντική διατήρηση αυτών. Οι δράσεις που πρέπει να γίνουν για να εκπληρωθεί ο στόχος της εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή θωράκιση των κτίριων, η αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, η δημιουργία νέων ενεργειακών τεχνολογιών και καυσίμων, η αλλαγή της καθημερινότητας των πολιτών ενεργειακά προσανατολισμένη και τέλος η χρήση προϊόντων, τα οποία χρειάζονται λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα προϊόντος αλλά και η χρήση νέων τεχνολογιών για την παράγωγή προϊόντων, δαπανώντας λιγότερη ενέργεια. Η εξοικονόμηση ενέργειας και η ενεργειακή απόδοση είναι στο επίκεντρο της πολιτικής ατζέντας της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της ενεργειακής στρατηγικής για το 2020 (Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2021).

1.3 Στόχοι Ενεργειακής Πολιτικής

1.3.1 Ευρωπαϊκοί Στόχοι

Στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής η Ευρώπη βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα πλήθος προκλήσεων που θα κλιθεί να αντιμετωπίσει στο άμεσο μέλλον. Το σύνολο αυτών είναι:

- Η συνεχής αυξανόμενη ζήτηση της ενέργειας
- Η αστάθεια των υψηλών ενεργειακών τιμών
- Ο πολύ αργός ρυθμός εξέλιξης σε τομείς που αφορούν την ενεργειακή απόδοση
- Η όλο και περισσότερο εξάρτηση από εξωτερικές πηγές για την απόκτηση ενεργειακών πόρων
- Οι κίνδυνοι ασφάλειας για τις χώρες παράγωγης και οι διαταραχές στον ενεργειακό εφοδιασμό
- Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Η κλιματική αλλαγή
- Αύξηση του μεριδίου ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

Όλες αυτές οι προκλήσεις είναι η αρχή για τον πιο ελπιδοφόρο στόχο που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να γίνει κλιματικά η πρώτη ουδέτερη ήπειρος. Στόχος είναι το 2050 να μην εκπέμπονται αέριοι ρύποι από χώρες που βρίσκονται στην Ευρώπη λόγω του ουδέτερου ενεργειακού αποτυπώματος. Εκτιμάται ότι θα υπάρξει σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5 C°. Για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας θα πρέπει να επιτευχθούν οι ενδιάμεσοι στόχοι που είναι η μείωση των εκπομπών κατά 40% μέχρι το 2030. (Institute of Energy for SE Europe IENE, 2020)

1.3.2 Εθνικοί Στόχοι

Αφού δόθηκαν οι κατευθυντήριοι στόχοι από την Ευρωπαϊκή Ένωση και σε συνεργασία με την εκάστοτε κυβέρνηση των υπόλοιπων κρατών μέλλων, η Ελλάδα θα πρέπει να προβεί στην σταδιακή μείωση των λιγνιτικών μονάδων παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Αυτή η πολιτική θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις εισαγωγές φυσικού αερίου.

Οι κύριοι εθνικοί ενεργειακοί στόχοι κατά το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) είναι:

- Η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου μοντέλου το οποίο συμπεριλαμβάνει όλους τους οικονομικούς τομείς για την βιώσιμη και αειφόρα ανάπτυξη.
- Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με την συνεργασία και συνεχή ανάπτυξη ενεργειακού τομέα και της περιβαλλοντικής προστασίας.

- Η επιλογή ενεργειακών πολιτικών για τον καλύτερο συνδυασμό κόστους και οφέλους για την ενεργειακή μετάβαση.
- Η αξιοποίηση και διαχείριση των αποβλήτων με τις τεχνολογίες κυκλικής οικονομίας.
- Η δημιουργία ενός ενεργειακού κόμβου με τη συμβολή στην ενεργειακή ασφάλεια και στην ασφάλεια εφοδιασμού μεταξύ Ελλάδας και Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Η διαφοροποίηση στις εισαγωγές ενέργειας, όπου, ταυτόχρονα, θα γίνεται και ο εκσυγχρονισμός στην ανάπτυξη των ενεργειακών υποδομών για την ακύρωση της ενεργειακής απομόνωσης των νησιών.
- Η μέγιστη αξιοποίηση κοινοτικών πόρων και μηχανισμών και εξωστρέφειας και καινοτομίας για να επιτευχθεί ανάπτυξη που θα δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας (Institute of Energy for SE Europe IENE, 2020).

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

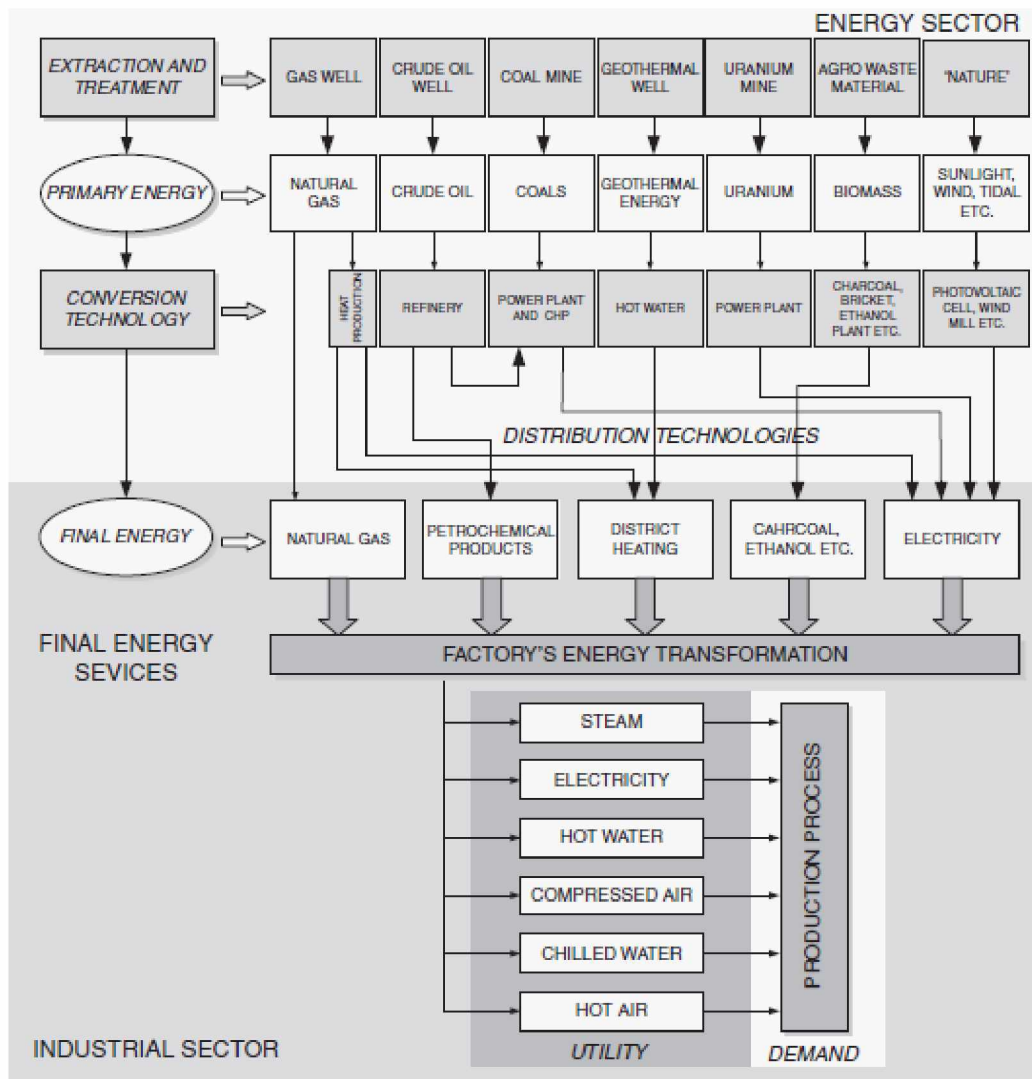
2.1 Εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία

Ο βιομηχανικός τομέας αποτελεί βασικό κορμό της εγχώριας οικονομίας. Οι τομείς της ενέργειας και της μεταποίησης καταναλώνουν μακράν το μεγαλύτερο μέρος της πρωτογενούς ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα. Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται μια ποικιλία καυσίμων. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο υπερβαίνουν κατά πολύ την κατανάλωση ενέργειας από κάθε άλλη πηγή στον βιομηχανικό τομέα. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες χρησιμοποιούν την ενέργεια με τρεις κύριους τρόπους:

- για την παραγωγή θερμότητας και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- για την παραγωγή υπηρεσιών κοινής ωφέλειας όπως πεπιεσμένος αέρας, ψυχρό νερό, ζεστό νερό κ.λπ.
- ως εισροή πρώτων υλών στην παραγωγική διαδικασία.

Ο βαθμός, στον οποίο μια διαδικασία, μια επιχείρηση ή ακόμη και μια χώρα καταναλώνει ενέργεια, περιγράφεται από την ενεργειακή ένταση. Η ενεργειακή ένταση είναι μια στατιστική έννοια, η οποία ορίζεται ως η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα παραγωγής σε διάφορα επίπεδα συγκέντρωσης.

Στο πρώτο σχήμα παρουσιάζονται τα διάφορα στάδια μετατροπής, από την εξόρυξη της πρωτογενούς ενέργειας έως τη μετατροπή της σε χρήσιμη τελικές ενεργειακές υπηρεσίες.



Σχήμα 2.1: Energy Conversion Steps from Primary Energy to End-Users

Η βιομηχανική κατανάλωση ενέργειας αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στον κόσμο. Η συνεχής αύξηση της τιμής της ενέργειας και η αύξηση του μεριδίου της στην τιμή μιας μονάδας προϊόντος απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή από τη διοίκηση του εργοστασίου όσον αφορά τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας. Τα βιομηχανικά ενεργειακά συστήματα, που συνήθως αποκαλούνται επίσης "επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας", παρέχουν την ενέργεια που απαιτείται για τη μετατροπή των πρώτων υλών και την κατασκευή τελικών προϊόντων. Τα βιομηχανικά ενεργειακά συστήματα μετατρέπουν τα καύσιμα και την ενέργεια σε μια ποικιλία ενεργειακών υπηρεσιών, όπως ατμός, άμεση θερμότητα, πεπιεσμένος αέρας, ψυχρό νερό, θερμά ρευστά

και αέρια και ενέργεια για συμπιεστές, ανεμιστήρες, αντλίες, μεταφορείς και άλλο μηχανοκίνητο εξοπλισμό (Greening, L. A. et. al., 2007).

Η εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία μπορεί να λάβει μέρος με την μορφή επέμβασης σε συγκεκριμένες διεργασίες του κάθε κλάδου, αλλά και σε γενικού τύπου επεμβάσεις που είναι κοινές για όλους τους κλάδους. Προκειμένου να εκτιμηθούν όλες οι απαραίτητες επεμβάσεις πρέπει πρώτα να γίνει μια ενεργειακή επιθεώρηση, έτσι ώστε να γίνει η εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων σε ένα ενεργειακό σύστημα, καθώς και των παραγόντων που το επηρεάζουν, έχοντας ως στόχο τον εντοπισμό των απαραίτητων μέτρων. Ως δεύτερη ενέργεια θα πρέπει να πραγματοποιούνται επεμβάσεις που έχουν άμεσο αποτέλεσμα με πολύ μικρό κόστος, οι λεγόμενες «επεμβάσεις νοικοκυρέματος». Οι τομείς που γίνονται αποδέκτες των συνηθέστερων επεμβάσεων είναι:

- στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας
- στους εναλλάκτες θερμότητας
- στην θερμομόνωση των σωληνώσεων – δεξαμενών
- στα συστήματα πεπιεσμένου αέρα
- στα βιομηχανικά συστήματα ατμού

2.1.1 Βιομηχανικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Σήμερα, σχεδόν το 30% έως 40% όλων των συμβατικών ενεργειακών πόρων στον κόσμο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (μάλιστα δίχως να περιλαμβάνονται εδώ οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους τελικούς καταναλωτές, μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα μέρη: παραγωγή, μεταφορά, διανομή και κατανάλωση. Ως απώλειες εκφράζεται το ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας σε ένα παρατηρούμενο τμήμα της αλυσίδας εφοδιασμού ενέργειας. Κατά μέσο όρο για μια παραδοσιακή θερμοηλεκτρική μονάδα μόνο κάτι περισσότερο από το 30% της εισερχόμενης ενέργειας παραδίδεται στους τελικούς καταναλωτές. Επομένως, οι βελτιώσεις σε επίπεδο απόδοσης από την πλευρά της ζήτησης έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε ολόκληρη τη βιομηχανία τροφοδοσίας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα βιομηχανικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ξεκινά από έναν ή περισσότερους μετασχηματιστές μέσης τάσης, που βρίσκεται εντός της περιμέτρου μιας εταιρείας. Ορισμένες εταιρείες ενδέχεται να συνδέονται στο δίκτυο σε υψηλή τάση (110 kV) ή σε χαμηλή τάση (380 V), και μερικές μπορεί να έχουν τη δική τους μονάδα παραγωγής ενέργειας ή συμπαραγωγής εντός του πεδίου ελέγχου τους. Σε κάθε

περίπτωση, ένα βιομηχανικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας διακλαδώνεται για να σχηματίσει τα παραρτήματα ενός υποσταθμού μετασχηματιστή. Οι τροφοδοτές (συνήθως ηλεκτρικά καλώδια) θα μεταφέρουν τις ροές ηλεκτρικής ενέργειας στα κύρια τμήματα και στις μονάδες μιας εταιρείας, όπου οι τοπικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις θα αναπτυχθούν περαιτέρω για να φτάσουν σε κάθε τελικό χρήστη .

Ο υπόλοιπος εξοπλισμός σε έναν υποσταθμό μετασχηματιστή περιλαμβάνει συνήθως διακόπτες κυκλώματος, πυκνωτές, προστατευτικές συσκευές, ασφάλειες και όργανα μέτρησης. Εκτός από τους κύριους εμπορικούς μετρητές, γενικά υπάρχουν και μετρητές σε κάθε προμηθευτή που εξοπλίζει ένα τμήμα ή έναν μεγαλύτερο καταναλωτή. Σπάνια συμβαίνει οι υπάρχουσες προβλέψεις μέτρησης να επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των συστημάτων μέτρησης απόδοσης, όπως αυτές απαιτούνται από το σχέδιο των κέντρων ενεργειακού κόστους. Επομένως, απαιτείται περαιτέρω υπομέτρηση για συγκεκριμένους χρήστες ή διεργασίες σε ένα εργοστάσιο (Πέρδιος, Σ., 2007, 130).

Αν και ένα βιομηχανικό σύστημα ισχύος περιλαμβάνει πολυάριθμα εξαρτήματα, από λειτουργική άποψη διαχείρισης απόδοσης σε ένα υπάρχον εργοστάσιο, στην πραγματικότητα άξια προσοχής στην παρούσα εργασία είναι μόνο τρία από αυτά:

- οι μετασχηματιστές
- τα καλώδια με σημεία σύνδεσης και
- οι κινητήρες.

Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές έχουν ονομαστική ισχύ ή δυνατότητες και υφίστανται κάποιες απώλειες, είτε λειτουργούν με πλήρη λειτουργία ή απλά είναι ενεργοποιημένες αλλά αδρανείς. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι ηλεκτρικές συσκευές είναι αρκετά αποδοτικές και πολύ αξιόπιστες και ότι η απόδοσή τους δεν αλλάζει πολύ στο πέρασμα του χρόνου. Είναι ο τρόπος λειτουργίας τους που καθορίζει την απόδοση της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Η αξιολόγηση της απόδοσης των βιομηχανικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας δεν θα πρέπει να επικεντρώνεται μόνο στην αποτελεσματικότητα των μεμονωμένων συσκευών, γιατί σε μια τέτοια περίπτωση οι περισσότερες ευκαιρίες για βελτίωση της απόδοσης θα παρέμεναν ανεξερεύνητες. Αντίθετα, προτείνεται μια συστηματική προσέγγιση που θα λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την απόδοση μεμονωμένου εξοπλισμού και μηχανών, αλλά και την απόδοσή τους σε ένα σύστημα, όπου αυτά τα μηχανήματα παρέχουν συγκεκριμένες εργασίες ή λειτουργίες. Στην περίπτωση αυτή, η αξιολόγηση της απόδοσης των βιομηχανικών

συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας θα έχουν δύο διακριτές πτυχές, της προσφοράς και της ζήτησης.

Από την πλευρά της προσφοράς, θα πρέπει να διερευνηθούν τόσο οι εμπορικές όσο και οι τεχνικές πτυχές της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εμπορικές εκτιμήσεις θα πρέπει να υπαγορεύουν την αναθεώρηση των τιμολογίων που έχουν συναφθεί, ποια είναι τα συνολικά έξοδα που καταβλήθηκαν για την ηλεκτρική ενέργεια και πώς γίνεται η επιλογή προμηθευτή εάν υπάρχει διαθέσιμη επιλογή. Τότε, κάποιος πρέπει να προχωρήσει στην ανάλυση των μηνιαίων λογαριασμών και στον καθορισμό των ποσών που καταβλήθηκαν για την ενεργό και την άεργη ισχύ και για τη χρέωση ζήτησης. Τέτοιες αναλύσεις και εκτιμήσεις μπορεί να οδηγήσουν στον εντοπισμό των ευκαιριών μείωσης του κόστους για την ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και πριν εξεταστούν οι τεχνικές πτυχές της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τεχνικής άποψης, καλό είναι να ελέγχεται τακτικά η ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (μηνιαία), προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές ζημιές στον εξοπλισμό και οι απώλειες ενέργειας που μπορεί να προκύψουν. Υπάρχει μια ποικιλία εργαλείων που ονομάζονται αναλυτές ποιότητας ισχύος, που βοηθούν στον εντοπισμό, την πρόβλεψη, την πρόληψη και την αντιμετώπιση προβλημάτων στα συστήματα βιομηχανικής διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά είναι εύχρηστα εργαλεία χειρός που μετρούν τις πραγματικές και τις μέγιστες τάσεις και ρεύματα, τη συχνότητα, τις βυθίσεις και τη διόγκωση τάσης, τα μεταβατικά ρεύματα, τις διακοπές, την ισχύ και ενέργεια, τη ζήτηση αιχμής, τις αρμονικές, δια-αρμονικές, και την ανισορροπία, ειδοποιώντας έτσι τους διαχειριστές ενέργειας για πιθανά προβλήματα ποιότητας του τροφοδοτικού.

Από την πλευρά της ζήτησης, ξεκινάμε από το γεγονός ότι μια εταιρεία δεν χρειάζεται αυτούσια την ηλεκτρική ενέργεια ως άυλη μορφή, αλλά μάλλον την λειτουργία ή τις υπηρεσίες που παρέχουν οι ηλεκτρικές συσκευές μετά από την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απόδοση όλων των μερών και ολόκληρου του συστήματος που παρέχει χρήσιμες λειτουργίες στους τελικούς χρήστες σύμφωνα με την πραγματική τους ζήτηση. Για κάθε τέτοιο σύστημα, πρέπει να ισχύει η βασική εξίσωση ισορροπίας: Προμήθεια = Ζήτηση + Απώλειες. Είτε πρόκειται για παροχή νερού, είτε για πεπιεσμένο αέρα ή για σύστημα εξαερισμού, είτε για οποιοδήποτε άλλο σύστημα που απαιτεί εργασία ή υπηρεσία, η απόδοση του συστήματος μπορεί να εκφραστεί ως η αναλογία χρήσιμης εργασίας που παραδίδεται και ηλεκτρικής ενέργειας ως ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση αυτού του έργου.

Οι επιλογές για τη βελτίωση της απόδοσης θα πρέπει να διερευνηθούν σύμφωνα με τις ακόλουθες προτεραιότητες:

- να καθοριστεί η πραγματική ζήτηση,
- να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες και
- να βελτιστοποιηθεί η προσφορά.

Πρώτο και κύριο, θα πρέπει να καθοριστεί η ποιότητα και η ποσότητα της πραγματικής ζήτησης. Ακόμα και η πιο αποτελεσματική προμήθεια μιας περιττής ή μη παραγωγικής ζήτησης θα ήταν τεράστια σπατάλη. Για παράδειγμα, οι ποσότητες νερού που αντλούνται θα πρέπει να αντιστοιχούν μόνο στις πραγματικές ανάγκες διεργασίας ή η ποιότητα του πεπιεσμένου αέρα θα πρέπει να ταιριάζει με τις απαιτήσεις της διαδικασίας, θα πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική καθαρότητα αέρα ή ένα σύστημα εξαερισμού θα πρέπει να παρέχει μόνο τον απαιτούμενο αριθμό εναλλαγών αέρα ανά ώρα κατά τα απαιτούμενα χρονικά διαστήματα και δεν πρέπει να λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο ανεξάρτητα από τις ανάγκες της διαδικασίας κ.λπ. Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα πως η μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον προέρχεται από τη βασική αρχή «όταν δεν το χρειάζεσαι, απενεργοποίησέ το» (Morvay, Z., & Gvozdenac, D., 2008).

2.1.2 Ανάκτηση θερμότητας

Τα συστήματα ανάκτησης βιομηχανικών εκπομπών θερμότητας μπορούν να προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και ουσιαστική μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η ευρωπαϊκή αγορά ανάκτησης θερμότητας προβλέπεται να ξεπεράσει τα 45 δισεκατομμύρια ευρώ, αλλά για να υλοποιηθεί αυτή η πρόβλεψη, ώστε η ευρωπαϊκή βιομηχανία κατασκευής και χρήσης να επωφεληθεί από αυτές τις εξελίξεις, θα πρέπει να εξετάζονται οι τεχνολογικές βελτιώσεις και καινοτομίες να εφαρμόζονται, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, του εξοπλισμού ανάκτησης θερμότητας, μειώνοντας το κόστος εγκατάστασης και μειώνοντας σημαντικά τα αέρια του θερμοκηπίου. Όλες οι διεργασίες θέρμανσης έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές ποσότητες σπατάλης θερμότητας, έως και 50% σε ορισμένες περιπτώσεις, και είναι ευρέως αναγνωρίσιμο ότι υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες ανάκτησης αυτής της θερμότητας. Η βελτίωση των σχεδιασμών των ενεργειακών συστημάτων είναι σημαντική, καθώς θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με τα ίδια έξοδα. Αυτό θα οδηγήσει σε χαμηλότερα επίπεδα

εκπομπών και θα επιτρέψει τους βιομηχανικούς οργανισμούς να διατηρήσουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα εμπορικά (Jouhara, H. et. al., 2018).

Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό πως υπάρχει μεγάλο οικονομικό, εμπορικό και περιβαλλοντικό συμφέρον από την διασφάλιση της αξιοποίησης όλου του ποσού των εκροών θερμότητας. Για να επιτευχθεί, όμως, αυτός ο σκοπός απαιτείται και ανάλογη τεχνολογία, η οποία είναι γνωστή ως ανάκτηση θερμότητας. Για να εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία είναι αναγκαία η χρήση κάποιων συστημάτων, τα οποία ονομάζονται συστήματα ανάκτησης θερμότητας. Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών ανάκτησης της θερμότητας είναι η χρήση συσκευών, που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν τη θερμική ενέργεια μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας και ονομάζονται εναλλάκτες θερμότητας (Πέρδιος, Σ., 2007β, σελ. 204).

Πιο συγκεκριμένα, ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι μια συσκευή μεταφοράς θερμότητας που ανταλλάσσει θερμότητα μεταξύ δύο ή περισσότερων υγρών επεξεργασίας. Οι εναλλάκτες θερμότητας έχουν εκτεταμένες βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές. Πολλοί τύποι εναλλάκτη θερμότητας έχουν δημιουργηθεί για χρήση στην ατμοηλεκτρική ενέργεια στα εργοστάσια, στις μονάδες χημικής επεξεργασίας, στα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού κτιρίων, στα συστήματα μεταφοράς ενέργειας και στις ψυκτικές μονάδες. Ο πραγματικός σχεδιασμός των εναλλακτών θερμότητας είναι ένα περίπλοκο ζήτημα. Περιλαμβάνει περισσότερες λεπτομέρειες από μια απλή ανάλυση μεταφοράς θερμότητας. Το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης, το βάρος και το μέγεθος παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τελικού σχεδίου που θα επιλεγεί. Σε πολλές περιπτώσεις, αν και το κόστος είναι ένα σημαντικό στοιχείο, το μέγεθος και το αποτύπωμα συχνά τείνουν να είναι οι κυρίαρχοι παράγοντες στην επιλογή ενός σχεδίου.

Οι περισσότεροι εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν ως ένας από τους ποικίλους βασικούς τύπους εναλλακτών. Οι τέσσερις πιο συνηθισμένοι τύποι, με βάση τη διαμόρφωση διαδρομής ροής, είναι:

- οι μονάδες ταυτόχρονης ή παράλληλης ροής (ομοροής), όπου τα δύο ρεύματα ρευστού εισέρχονται μαζί με ένα τέλος, κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση και φτάνουν μαζί στο άλλο άκρο.
- οι μονάδες αντίθετου ρεύματος ή αντίθετης ροής (αντιροής), όπου τα δύο ρεύματα κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις.

- οι μονάδες εγκάρσιας ροής, μονής διέλευσης (σταυροροής), όπου ένα ρευστό κινείται μέσω του καλουπιού μεταφοράς θερμότητας κάθετα ως προς τη διαδρομή ροής του άλλου ρευστού.
- οι μονάδες πολλαπλών διελεύσεων (σύνθετοι), όπου ένα ρεύμα ρευστού μετακινείται εμπρός και πίσω κατά μήκος της διαδρομή ροής του άλλου ρεύματος ρευστού, που συνήθως δίνει μια προσέγγιση εγκάρσιας και αντίθετης ροής (Πέρδιος, Σ., 2007β, 206).

Παράλληλα, οι εναλλάκτες θερμότητας ταξινομούνται ανάλογα με τις διαδικασίες μεταφοράς σε τύπους έμμεσης και άμεσης επαφής. Σε έναν εναλλάκτη θερμότητας έμμεσης επαφής, τα ρεύματα ρευστού παραμένουν χωριστά και η θερμότητα μεταφέρεται συνεχώς μέσω ενός αδιαπέραστου διαχωριστικού τοίχου, είτε από το θερμό ρευστό στο τοίχωμα, είτε με αγωγιμότητα μέσα στο τοίχωμα, είτε με μετάβαση από το τοίχωμα στο ψυχρό ρευστό. Με αυτόν τον τρόπο, δεν υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ των θερμικών αλληλεπιδρώντων υγρών. Αυτός ο τύπος εναλλάκτη θερμότητας, που αναφέρεται επίσης ως εναλλάκτης θερμότητας επιφάνειας, μπορεί περαιτέρω να ταξινομηθεί σε εναλλάκτη άμεσης μεταφοράς, αποθήκευσης και ρευστοποιημένης κλίνης (Hesselgreaves, J. E., 2001).

Στην περίπτωση του εναλλάκτη θερμότητας άμεσης επαφής, η θερμότητα μεταφέρεται συνεχώς από το ζεστό ρευστό στο ψυχρό ρευστό μέσω ενός διαχωριστικού τοίχου. Αν και απαιτείται ταυτόχρονη ροή δύο (ή περισσότερων) υγρών στον εναλλάκτη, δεν υπάρχει άμεση ανάμιξη των δύο (ή περισσότερων) ρευστών γιατί το καθένα ρευστό ρέει σε ξεχωριστές διόδους. Γενικά, στους περισσότερους εναλλάκτες δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη. Αυτός ο τύπος εναλλάκτη χαρακτηρίζεται ως εναλλάκτης ανάκτησης θερμότητας ή απλώς ως ανακτητής (Μερικά παραδείγματα εναλλακτών θερμότητας άμεσης επαφής είναι οι σωληνοειδείς, πλακοειδείς και οι εναλλάκτες εκτεταμένης επιφάνειας).

Πέρα από τις παραπάνω ταξινομήσεις υπάρχουν και κάποιοι ειδικοί τύποι εναλλακτών θερμότητας με συχνή χρήση στην καθημερινότητα, οι οποίοι είναι οι συμπυκνωτές και οι βραστήρες. Οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές, όπως ως σταθμοί ατμού, χημικά εργοστάσια επεξεργασίας και πυρηνικές ηλεκτρικές μονάδες για διαστημικά οχήματα. Οι κύριοι τύποι συμπυκνωτών περιλαμβάνουν τους συμπυκνωτές επιφάνειας, τους ψεκαστήρες και τους συμπυκνωτές εξάτμισης. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι ο συμπυκνωτής επιφάνειας, ο οποίος διαθέτει σύστημα τροφοδοσίας νερού. Για να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια πίεσης κατά τη μεταφορά του ατμού από τον στρόβιλο στον συμπυκνωτή, ο συμπυκνωτής είναι συνήθως τοποθετημένος και προσαρτημένος κάτω από

τον στρόβιλο. Το νερό ψύξης ρέει οριζόντια μέσα στους σωλήνες, ενώ ο ατμός ρέει κάθετα από το μεγάλο άνοιγμα στο πάνω μέρος και περνάει εγκάρσια πάνω από τους σωλήνες.

Οι λέβητες ατμού είναι μια από τις πρώτες εφαρμογές των εναλλάκτων θερμότητας. Ο όρος «γεννήτρια ατμού» εφαρμόζεται συχνά για έναν λέβητα στον οποίο η πηγή θερμότητας είναι ένα ζεστό ρευστό ρεύμα και όχι το προϊόν μιας καύσης. Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία τύπων λεβήτων, που κυμαίνονται από αυτούς που χρησιμοποιούνται ως μικρές μονάδες στο σπίτι για εφαρμογές θέρμανσης, σε αυτούς που αξιοποιούνται σε τεράστιες, πολύπλοκες, ακριβές μονάδες σε σύγχρονους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Zohuri, B., 2017).

Όλοι οι εναλλάκτες θερμότητας που αναφέρθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια και να μειωθούν τα λειτουργικά έξοδα μιας βιομηχανικής μονάδας, καθιστώντας την οικονομικά βιώσιμη. Αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση απώλειας θερμότητας, ενώ οι πιο βασικές εφαρμογές τους μπορούν να εντοπιστούν στις ακόλουθες: ανάκτηση θερμότητας από θερμικά απόβλητα, από ακτινοβολία, από συμπύκνωση και ψύξη ρευστών, από τον αέρα κλιματισμού, από λαμπτήρες φωτισμού, από νερό ψύξης χημικών αντιδραστήρων, από λέβητα συμπύκνωσης και μέσω της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Πέρδιος, Σ., 2007β, 232- 234).

2.1.3 Θερμομόνωση των σωληνώσεων - δεξαμενών

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας, ο οποίος έχει άμεσα αποτελέσματα στην μείωση των θερμικών απωλειών, αλλά ταυτόχρονα με πολλαπλά οφέλη στην παραγωγική διαδικασία, είναι η τοποθέτηση θερμομόνωσης. Τοποθετώντας θερμομονωτικά υλικά σε σωληνώσεις και σε δεξαμενές, είναι δυνατόν να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Αυτό το γεγονός συνεπάγεται λιγότερες εκκινήσεις του λέβητα και άρα λιγότερη κατανάλωση καύσιμου και ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας το κόστος του παραγόμενου προϊόντος. Επίσης, εξασφαλίζεται η εφαρμογή κάποιων μέτρων προστασίας για την αποφυγή πιθανών ατυχημάτων και η βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος εργασίας, διατηρώντας την θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα. Τέλος, η θερμομόνωση των τμημάτων αυτών προστατεύει από την συμπύκνωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας σε ψυχρές επιφάνειες και συμβάλλει στην προστασία υγρών, τα οποία είναι πιθανόν να στερεοποιηθούν κατά τους χειμερινούς μήνες εντός των σωληνώσεων και των δεξαμενών. (Πέρδιος, Σ., 2007β, 184)



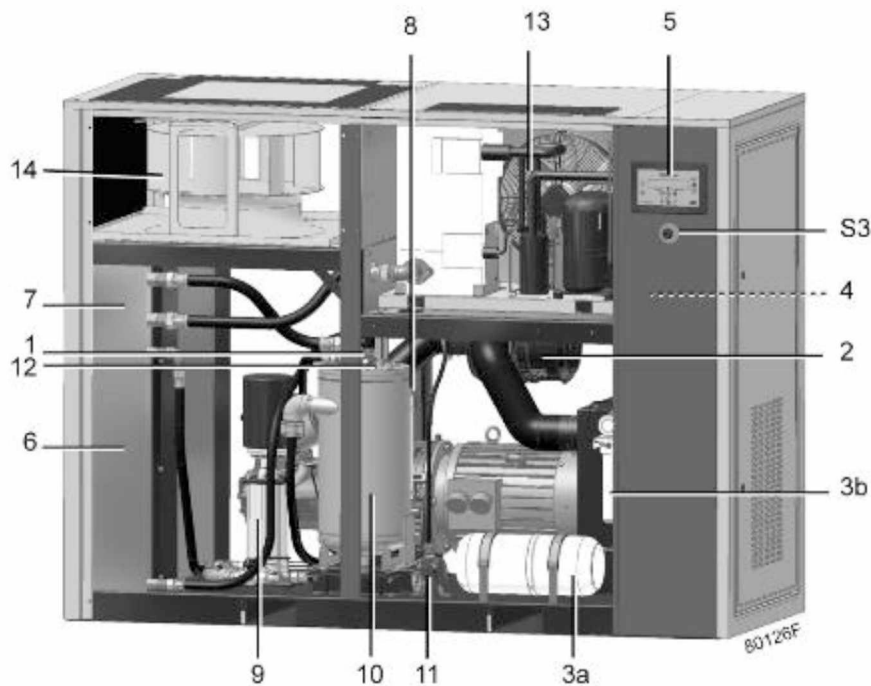
Εικόνα 2.1: Θερμομόνωση δικτύου ατμού

(<https://michiganinsulationcontractors01.wordpress.com/2014/01/13/how-steam-pipe-insulation-is-useful-in-saving-money/>)

Η θερμομόνωση είναι μία από τις πιο σημαντικές πτυχές στη βελτιστοποίηση του κόστους ενός συστήματος αποθήκευσης. Η επιλογή και η προδιαγραφή του συστήματος μόνωσης (υλικό/μέθοδος και θερμική αντίσταση) δεν καθορίζει μόνο το σχετικό επενδυτικό κόστος, αλλά, σημαντικότερο, διέπει σε μεγάλο βαθμό τη θερμική απόδοση του συστήματος αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της ζωής του. Επιπλέον, σε θερμικά στρωματοποιημένες δεξαμενές ζεστού νερού, η αποφυγή απωλειών θερμότητας είναι ακόμη πιο σημαντική, δεδομένου ότι αυτές οι απώλειες ενισχύουν την συναγωγική ανάμειξη, η οποία επιδεινώνει τη θερμική στρωματοποίηση και μειώνει τελικά την ενεργητική απόδοση της αποθήκευσης. Στον οικοδομικό τομέα, η θερμομόνωση συνεχίζει να τυγχάνει σημαντικής προσοχής στην επιστήμη, καθώς υπάρχει εδραιωμένη βάση σχετικά με την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου και των χαρακτηριστικών του περιβλήματος του. Όσον αφορά την οικονομική πτυχή της θερμομόνωσης, έχουν παρουσιαστεί σε αρκετές μελέτες διαφορετικές μέθοδοι για τη βελτιστοποίηση της θερμομόνωσης των κτιρίων με μόνωση στους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους (Villasmil, W. et. al., 2019).

2.1.4 Συστήματα πεπιεσμένου αέρα

Ο πεπιεσμένος αέρας είναι μια ασφαλής και αξιόπιστη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται ευρέως σε όλη τη βιομηχανία, είτε σε απλά πρακτικά ζητήματα, κατά την χρήση ενός εργαλείου, είτε σε πιο πολύπλοκες διεργασίες, όπως πνευματικοί έλεγχοι. Ο συμπιεσμένος αέρας παράγεται επιτόπου, δίνοντας στους χρήστες μεγαλύτερο έλεγχο της χρήσης και της ποιότητας του αέρα. Κατά μέσο όρο, ο πεπιεσμένος αέρας αντιπροσωπεύει περίπου το 10% της βιομηχανικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Παρατηρώντας το (Εικ. 2.2) γίνονται διακριτά τα βασικά στοιχεία ενός αεροσυμπιεστή. Η παρουσία των πολλών φίλτρων, διαχωριστών λαδιού και των ξηραντών αέρα φανερώνει τα προβλήματα, τα οποία δημιουργούνται κατά την συμπίεση του αέρα και μπορεί να αφορούν την απομάκρυνση των σωματιδίων του λαδιού και της υγρασίας.



Εικόνα 2.2: Πρόσθια όψη, αερόψυκτος αεροσυμπιεστής με ενσωματωμένο ξηραντή (CECCATO Oil-free water-injected screw compressors)

Αριθμοί αναφοράς	Όνομα
1	Βαλβίδα ελάχιστης πίεσης
2	Φίλτρο αέρα
3	Μονάδα αντίστροφης όσμωσης (RO) (δοχείο αποθήκευσης (3a) και φίλτρα (3b))
4	Ηλεκτρικός πίνακας
5	Ηλεκτρονικός ρυθμιστής
6	Ψυγείο νερού
7	Ψυγείο αέρα
8	Φίλτρο νερού
9	Αντλία νερού
10	Δοχείο διαχωρισμού νερού
11	Αυτόματη αποστράγγιση
12	Βαλβίδα ασφαλείας
13	Ξηραντής (μόνο σε αεροσυμπιεστές με ενσωματωμένο ξηραντή)
14	Ανεμιστήρας ψύξης (μόνο σε αερόψυκτους αεροσυμπιεστές)
S3	Κουμπί διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης

Πίνακας 2.1: Κύρια λειτουργικά μέρη (CECCATO Oil-free water-injected screw compressors)

Το κόστος παραγωγής πεπιεσμένου αέρα ελέγχεται από την απόδοση των συμπιεστών και εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- λειτουργικές διαδικασίες,
- διαμόρφωση του συμπιεστή,
- ατομικό σύστημα ελέγχου του συμπιεστή,
- αριθμός των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη της ζήτησης,
- συνολικό σύστημα ελέγχου,
- θέση του χώρου συμπιεστών,
- θερμοκρασία του αέρα εισόδου,
- ποιότητα των συστημάτων ψύξης,
- ποιότητα της συντήρησης.

Για να μπορέσει να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος θα πρέπει να προσδιοριστούν οι λόγοι που προκαλούν την αύξηση του κόστους του αέρα που παράγεται. Οι βασικότερες επεμβάσεις για να επιτευχθεί αυτό είναι: α) η μείωση της πίεσης στο κατώτερο επιτρεπτό όριο που ορίζει η παραγωγική διαδικασία, β) η μείωση της ανεξέλεγκτης διαρροής αέρα, όπου το κόστος επισκευής είναι ελάχιστο σε σχέση με την ενέργεια που δαπανάται και γ) το κλείσιμο αγωγών δικτύου που δεν βρίσκονται σε λειτουργία.

Υπάρχουν 3 είδη αεροσυμπιεστών που συναντώνται συνήθως σε κινητές βιομηχανικές μονάδες και είναι διακριτοί λόγω της λειτουργίας τους:

- οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές,
- οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές και
- οι στροβιλοσυμπιεστές.

Κάθε ένας από αυτούς τους αεροσυμπιεστές έχει τα δικά του ιδιαίτερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (Kaya, D. et. al., 2002).

Οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές είναι οι πιο συνηθισμένοι αεροσυμπιεστές, που χρησιμοποιούνται σε καθημερινές και είναι το είδος αεροσυμπιεστή με τον οποίο είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι άνθρωποι. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία κατασκευαστών και προμηθευτών σε όλο τον κόσμο, παρέχοντας μια σειρά από επιλογές. Από τους τρεις τύπους αεροσυμπιεστών που αναφέρθηκαν, οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές έχουν γενικά τη χαμηλότερη αρχική τιμή αγοράς. Είναι κατάλληλοι για λειτουργίες που απαιτούν χαμηλό κύκλο λειτουργίας. Σε αντίθεση με πολλούς περιστροφικούς και στροβιλοφόρους αεροσυμπιεστές, οι περισσότεροι αεροσυμπιεστές αυτής της κατηγορίας μπορούν να συντηρηθούν ή να ανακατασκευαστούν επιτόπου με απλά εργαλεία χειρός. Από την άλλη πλευρά είναι συνήθως οι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι σε σύγκριση άλλους αεροσυμπιεστές. Έχουν πολλά κινητά μέρη και, όπως ο στροβιλοσυμπιεστής, αντιμετωπίζουν προβλήματα με τις αυξανόμενες ποσότητες λαδιού που μεταφέρονται. Λόγω του τρόπου με τον οποίο οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές παράγουν αέρα, απαιτείται περισσότερη προσπάθεια για να μειωθούν οι θερμοκρασίες του αέρα πριν ο πεπιεσμένος αέρας φτάσει στα εργαλεία και στον εξοπλισμό. Απαιτείται επίσης μια δεξαμενή αποδοχής αέρα, η οποία καταλαμβάνει επιπλέον χώρο.

Στην δεύτερη κατηγορία αεροσυμπιεστών, οι περιστροφικοί χρησιμοποιούνταν σε λιγότερες και πιο συγκεκριμένες περιπτώσεις, ενώ δεν ήταν ευρέως διαδεδομένοι. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια αυτό έχει αλλάξει. Οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές έχουν γίνει πιο προσιτοί και τα οφέλη τους αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο σε διάφορους κλάδους. Στα πλεονεκτήματα συμπεριλαμβάνεται η μεγάλη διάρκεια ζωής και η παροχή υψηλής ροής αέρα σε σχετικά περιορισμένο μέγεθος. Οι εφαρμογές υψηλού κύκλου λειτουργίας είναι κατάλληλες για περιστροφικούς αεροσυμπιεστές, καθώς είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν όλη τη διάρκεια του χρόνου. Γενικά, ένας τέτοιος αεροσυμπιεστής δεν χρειάζεται δεξαμενή δέκτη αέρα για λειτουργία. Σε σύγκριση με τους άλλους τύπους αεροσυμπιεστών, αυτοί

έχουν λιγότερα εξαρτήματα που φθείρονται και η συντήρηση συνήθως συνίσταται στην αλλαγή φίλτρων και λαδιού. Ως προς τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές έχουν γενικά υψηλότερο αρχικό κόστος, αλλά διαρκούν περισσότερο καθώς έχουν λιγότερα εξαρτήματα που φθείρονται, όπως αναφέρθηκε. Καθώς οι περισσότεροι αεροσυμπιεστές αυτού του είδους χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε φορητές συσκευές με έγχυση λαδιού, έχουν ένα ανεξάρτητο κύκλωμα λίπανσης. Ως αποτέλεσμα, το λάδι που χρησιμοποιείται είναι ειδικό για τον αεροσυμπιεστή και το σύστημα απαιτεί τακτική συντήρηση.

Από τους τρεις τύπους αεροσυμπιεστών που απαντώνται σε εφαρμογές για φορητές συσκευές, ο στροβιλοσυμπιεστής είναι ο λιγότερο χρησιμοποιούμενος. Υπάρχουν λιγότεροι κατασκευαστές αυτού του είδους αεροσυμπιεστή σε σύγκριση με τους υπόλοιπους και συνακόλουθα τα ανταλλακτικά του μπορεί να είναι πιο δύσκολο να βρεθούν. Όπως και ο περιστροφικός αεροσυμπιεστής, ο στροβιλοσυμπιεστής έχει λιγότερα κινητά μέρη σε σύγκριση τον εμβολοφόρο. Είναι συμπαγής σε μέγεθος σε σύγκριση με τους υπόλοιπους αεροσυμπιεστές, ενώ είναι σχεδιασμένος για συνεχή λειτουργία και παρέχει μια σχετικά ελεύθερη ροή αέρα στα εργαλεία ή τον εξοπλισμό. Τέλος, αυτός ο αεροσυμπιεστής έχει γενικά χαμηλότερο αρχικό κόστος αγοράς. Στα μειονεκτήματα, όπως και με άλλους αεροσυμπιεστές, πρέπει να συμπεριληφθεί η μεταφορά λαδιού που αυξάνεται όσο περισσότερο βρίσκεται σε λειτουργία. Μάλιστα, απαιτείται μια πλήρης ανακατασκευή για να αποφευχθεί αυτό, η οποία είναι μια δαπανηρή διαδικασία. Η εύρεση ανταλλακτικών και υποστήριξης μπορεί επίσης να είναι μια πρόκληση (VMAC, 2021).

Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το 50% έως 90% της θερμότητας που αποβάλλεται με την ψύξη του αέρα κατά τη συμπίεση. Η περισσότερη ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί με τους κοχλιοφόρους συμπιεστές και λιγότερη με τους στροβιλοσυμπιεστές. Ωστόσο, η ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας μπορεί να αξιοποιηθεί οικονομικά έως το 30% περίπου της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη συμπίεση του αέρα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, όπως α) για την θέρμανση του νερού αναπλήρωσης του λέβητα και β) για την θέρμανση του χώρου εργασίας. (Mousavi, S. et. al., 2014).

2.1.5 Βιομηχανικά συστήματα ατμού

Το σύστημα το οποίο παράγει και διανέμει θερμική ενέργεια με την μορφή ατμού ονομάζεται ατμοπαραγωγός. Η χρήση του ατμού στην βιομηχανία ποικίλει, δηλαδή μπορεί

να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για την λειτουργία μηχανημάτων, για θέρμανση και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρατίθεται μία πληθώρα πλεονεκτημάτων που μπορεί να επιφέρει η χρήση του ατμού, όπως το απλουστευμένο σύστημα υποστήριξης από το δίκτυο μεταφοράς, που απαιτεί η μικρή πυκνότητα του ατμού. Ακόμα, σε αυτήν την περίπτωση η υψηλή πίεση λειτουργίας μπορεί να καταστήσει μη απαραίτητη τη χρήση αντλίας κυκλοφορίας. Ο υψηλός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας άρα και η μεταφορά θερμότητας είναι πολύ ευκολότερη, καθώς απαιτεί μικρότερες επιφάνειες συναλλαγής και κατά συνέπεια μικρότερο, σε διαστάσεις, δίκτυο μεταφοράς. Αυτό συνεπάγεται οικονομικότερη κατασκευή του δικτύου αλλά και στη λειτουργία του, εφόσον υπάρχουν λιγότερα ποσά απώλειας θερμότητας.

Μια τυπική διάταξη ενός συστήματος ατμού κατηγοριοποιείται στα παρακάτω υποσυστήματα:

- στο λέβητα
- στο σύστημα διανομής
- στους τελικούς καταναλωτές
- στο δίκτυο επιστροφής συμπυκνωμάτων
- στο σύστημα παρακολούθησης μέτρησης και ελέγχου (Morvay, Z., & Gvozdenac, D., 2008).

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΥ

3.1 Λέβητας

Ο λέβητας είναι ένα κλειστό δοχείο, το οποίο κατασκευάζεται από χάλυβα και λειτουργεί σαν ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του καυσαερίου και του νερού, που διαρρέει το σύστημα. Κατά την καύση του καύσιμου επιτυγχάνεται η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική. Το καυσαέριο το οποίο ρέει σε ένα σύστημα αγωγών, αποτελώντας τον φορέα της θερμότητας, μεταδίδει την θερμότητα του στο μεταφερόμενο μέσο που είναι το νερό ή ο ατμός. Η καύση του καύσιμου και εν συνεχεία η παραγωγή του καυσαερίου γίνεται σε έναν χώρο, που ονομάζεται θάλαμος καύσεως. Ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας από την φλόγα στον θάλαμο, λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας του καύσιμου, γίνεται με ακτινοβολία. Μετά το θάλαμο καύσης τα καυσαέρια διέρχονται από τους αυλούς των καυσαερίων, όπου η θερμότητα μεταφέρεται κυρίως με συναγωγή. Τα δύο τρίτα της μεταφοράς θερμότητας λαμβάνουν χώρα στον θάλαμο καύσης και το υπόλοιπο ένα τρίτο στους αυλούς καυσαερίων (Parvez, M., 2017).

Οι λέβητες διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες

- A. Φλογοαυλωτούς
- B. Υδραυλωτούς

Ο φλογοαυλωτός λέβητας είναι ένας λέβητας, στον οποίο τα θερμά καυσαέρια βρίσκονται μέσα στους σωλήνες και το νερό περιβάλλει τους σωλήνες αυτούς. Έχει λάβει τη συγκεκριμένη ονομασία, επειδή η φωτιά υπάρχει μέσα στους σωλήνες, και ως εκ τούτου ονομάζεται λέβητας με σωλήνες φωτιάς (φλογοαυλωτός). Η κατεύθυνση της κυκλοφορίας του νερού δεν είναι προκαθορισμένη, δηλαδή δεν προβλέπεται εκ των προτέρων μια συγκεκριμένη διαδρομή για την κυκλοφορία του νερού. Ο ατμός που παράγεται από αυτούς τους λέβητες έχει πίεση περίπου 25 bar και γι' αυτό οι λέβητες αυτοί ανήκουν στην κατηγορία των λεβήτων χαμηλής πίεσης. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής ατμού σε αυτούς τους λέβητες είναι χαμηλός, δηλαδή 9 τόνοι ανά ώρα. Όσον αφορά την απόδοση, τότε η συνολική απόδοση των λεβήτων σωλήνων φωτιάς είναι περίπου 75%. Για δεδομένη ισχύ η επιφάνεια δαπέδου που απαιτείται για την παραγωγή ατμού είναι μεγαλύτερη των υδραυλωτών και είναι περίπου 8 m² ανά τόνο ανά ώρα. Ακόμη, η ανέγερση και η μεταφορά αυτών των λεβήτων δεν είναι εύκολη και αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τα μέρη τους δεν μπορούν να διαχωριστούν. Το κόστος λειτουργίας αυτού του λέβητα είναι χαμηλό και η πιθανότητα έκρηξης είναι μικρότερη. Η έκρηξη προκαλεί μεγαλύτερο κίνδυνο βλάβης του λέβητα.

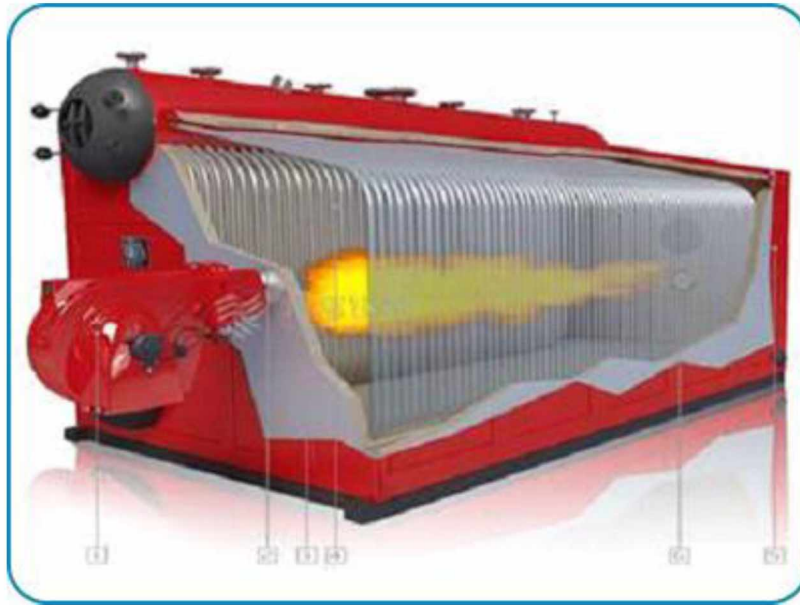
Τέλος, δεν είναι κατάλληλος για μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά χρησιμοποιείται σε μικρούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.1: Φλογοαυλωτός ατμολέβητας

(<https://blog.cti-ct.com/2017/11/scotch-marine-boilers.html>)

Ο υδραυλωτός είναι ένας λέβητας στον οποίο το νερό βρίσκεται στο εσωτερικό των σωλήνων και τα θερμά καυσαέρια περιβάλλουν τους σωλήνες. Δεδομένου ότι το νερό βρίσκεται στο εσωτερικό των σωλήνων, οι λέβητες αυτοί ονομάζονται λέβητες υδροσωλήνων (υδραυλωτός). Η κατεύθυνση της κυκλοφορίας του νερού είναι σαφώς καθορισμένη, δηλαδή παρέχεται μια συγκεκριμένη διαδρομή για την κυκλοφορία του νερού. Οι λέβητες αυτοί παράγουν ατμό υψηλής πίεσης, δηλαδή περίπου 165 bar και κατά συνέπεια αυτοί οι λέβητες ανήκουν στην κατηγορία των λεβήτων υψηλής πίεσης. Ο ρυθμός παραγωγής ατμού στον λέβητα υδροσωλήνων είναι υψηλός, δηλαδή 450 τόνοι ανά ώρα και ο συνολικός βαθμός απόδοσης του λέβητα υδροσωλήνων με οικονομική είναι πάνω από 90%. Για δεδομένη ισχύ η επιφάνεια του δαπέδου που απαιτείται για την παραγωγή ατμού σε αυτόν τον λέβητα είναι μικρότερη, δηλαδή 5 m² ανά τόνο ανά ώρα. Η ανέγερση και η μεταφορά είναι εύκολη, καθώς τα μέρη του μπορούν να διαχωριστούν συγκριτικά με τον φλογοαυλωτό. Το κόστος λειτουργίας είναι υψηλό και η πιθανότητα έκρηξης είναι επίσης υψηλή, λόγω της υψηλής πίεσης του ατμού. Ωστόσο, η έκρηξη δεν προκαλεί καταστροφή σε ολόκληρο τον λέβητα. Τέλος, ο λέβητας αυτός είναι κατάλληλος και για μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας (Pástor, M. et. al., 2020).



Εικόνα 3.2: Υδραυλότης ατμολέβητας

3.2 Δίκτυα ατμού

Ο ατμός αποτελεί αδιαμφισβήτητα ένα από τα πιο διαδεδομένα μέσα μεταφοράς ενέργειας σε μία βιομηχανική εγκατάσταση. Αφότου επέλθει σε αέρια φάση από την υγρή, μέσω της χρήσης θερμότητας, που προσδίδει ένας ατμολέβητας, ο ατμός μεταφέρεται και διανέμεται μέσω δικτύου χαλύβδινων ή χυτοσίδηρων σωλήνων στα σημεία κατανάλωσης (Χαραλάμης, Ν. Κ., 2019).

Λόγω των απωλειών θερμότητας του ατμού στις επιφάνειες συναλλαγής και κατ' επέκταση στο προς θέρμανση μέσο, διακρίνεται το πρόβλημα της συμπύκνωσης του ατμού. Ειδικότερα, αυτό που συμβαίνει είναι η δημιουργία υγρασίας και στην συνέχεια ο σχηματισμός μιας στρώσης υγρού μέσα στις σωληνώσεις, το οποίο όταν έρθει σε επαφή με τον ξηρό ατμό θα προκαλέσει την εμφάνιση υδραυλικού πλήγματος. Ένα άλλο πρόβλημα το οποίο υπάρχει είναι ο εγκλωβισμένος αέρας, που βρίσκεται μέσα στο δίκτυο, άλλα και μέσα στο νερό τροφοδοσίας, όπου απελευθερώνεται κατά την θέρμανση του, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας του ατμού. Για την αποφυγή του προβλήματος της υγρασίας και του αέρα μέσα στο δίκτυο τοποθετούνται ατμοπαγίδες, για την υγρασία οι διαχωριστές, ενώ για τον αέρα τα αυτόματα εξαεριστικά. Επίσης, σε μία εγκατάσταση ατμού εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν τα φίλτρα, τα όργανα μέτρησης πίεσης και θερμοκρασίας, οι μειωτές πίεσης και τα ασφαλιστικά.

Η διαμόρφωση ενός δικτύου ατμού πρέπει να πληρεί κάποιους κανόνες, έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη διαχείριση του ατμού και των συμπυκνωμάτων.

- Για την ευκολότερη συλλογή των συμπυκνωμάτων στα σημεία αποστράγγισης, αλλά και για την απομάκρυνση τους από τις ατμοπαγίδες θα πρέπει οι σωληνώσεις να έχουν ελάχιστη κλίση 0,5% κατά την διεύθυνση της ροής του ατμού. Στην περίπτωση, όμως, που χρειάζεται ανοδική κλίση, τότε ο ατμός θα πρέπει να έχει ταχύτητα έως 15 m/s, έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η ροή του από την αντίθετη ροή των συμπυκνωμάτων.
- Για την αποφυγή συσσώρευσης συμπυκνώματος κατά την μείωση της διαμέτρου ενός κλάδου θα πρέπει να χρησιμοποιείται έκκεντρη συστολή.
- Θα πρέπει να μην υπάρχουν σημεία στο δίκτυο που εγκλωβίζουν τα συμπυκνώματα και τα αποτρέπουν να κινηθούν προς τις ατμοπαγίδες
- Για την εξασφάλιση ξηρότερου ατμού θα πρέπει να γίνεται η λήψη του από το πάνω μέρος του κεντρικού κλάδου στους κλάδους διακλάδωσης (Πέρδιος, Σ., 2007β, 188)

3.2.1 Ατμοπαγίδες

Οι ατμοπαγίδες αποτελούν αναπόσπαστα όργανα στα δίκτυα ατμού, τα οποία απομακρύνουν τα συμπυκνώματα και τον εγκλωβισμένο αέρα, παρεμποδίζοντας ταυτόχρονα τη διαφυγή ατμού από το δίκτυο. Σχηματικά αποτελείται από δύο στοιχεία, τα οποία είναι πρώτον η βαλβίδα και η έδρα της, που μαζί δημιουργούν το ακροφύσιο, από το οποίο περνάει το συμπύκνωμα και δεύτερον από ένα εξάρτημα, που κινώντας τη βαλβίδα δίνει τη δυνατότητα μέτρησης κάποιας παραμέτρου του συμπυκνώματος. Οι παράμετροι αυτοί είναι η μέτρηση της πυκνότητας μέσω πλωτήρα, η μέτρηση της θερμοκρασίας και η μέτρηση των κινητικών επιπτώσεων της ροής. Βάσει της παραμέτρου που πρέπει να μετρηθεί έχουν κατασκευαστεί και οι αντίστοιχες ατμοπαγίδες οι οποίες είναι 1) μηχανικές 2) θερμοδυναμικές 3) θερμοστατικές και επιλέγεται κάθε φορά η κατάλληλη ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εγκατάστασης (Risko, J. R., 2011).

Fig. 11.3.1 Float trap with air cock

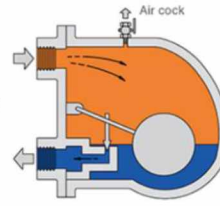
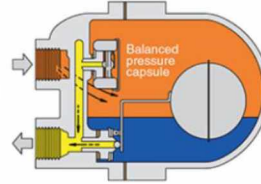
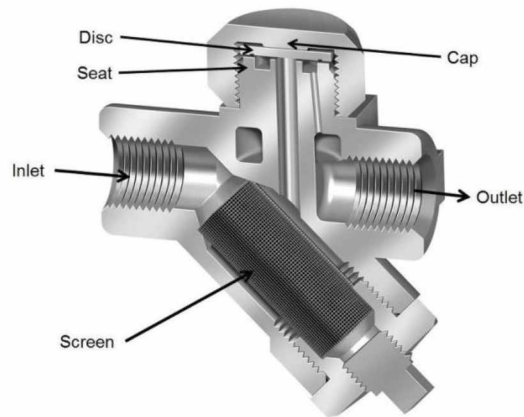


Fig. 11.3.2 Float trap with thermostatic air vent



Εικόνα 3.3 Μηχανική ατμοπαγίδα (<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-traps-and-steam-trapping/mechanical-steam-traps#article-top>)



Εικόνα3.4 Θερμοδυναμική ατμοπαγίδα
(<https://plant-engineering.tistory.com/308>)



Εικόνα3.5 Θερμοστατική ατμοπαγίδα
(<https://www.tlv.com/global/ME/products/080300.html>)

3.3 Τελικοί καταναλωτές

Στη βιομηχανία υπάρχουν διάφοροι τελικοί καταναλωτές και καθένας από αυτούς θα πρέπει να αποτελεί αντικείμενο ενεργειακής διαχείρισης όσον αφορά την παρακολούθηση και την εκτίμηση της ατομικής του αποτελεσματικότητας και ενεργειακής απόδοσης.

Στην παρούσα εργασία δεν πρόκειται να γίνει πιο λεπτομερής ανάλυση των διαφόρων τελικών καταναλωτών, όμως, πρέπει να αναφερθεί ότι για την ορθή λειτουργία οποιουδήποτε τελικού καταναλωτή είναι απαραίτητη η παροχή της απαιτούμενης ροής ατμού στην αντίστοιχη πίεση. Αυτή η παράμετρος καθορίζεται από τον κατασκευαστή.

Το βασικό ζήτημα για τον αποτελεσματικό χειρισμό οποιουδήποτε τελικού καταναλωτή είναι η τήρηση των οδηγιών λειτουργίας του κατασκευαστή, η χρήση του βάσει της χωρητικότητας που είναι σχεδιασμένη, η δημιουργία αλλά και η εφαρμογή ενός κατάλληλου σχεδίου συντήρησης (Morvay, Z., & Gvozdenac, D., 2008).

3.4 Σύστημα επιστροφής συμπυκνωμάτων

Η ανάκτηση συμπυκνωμάτων αποτελεί από τα παλαιότερα μέτρα για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στα βιομηχανικά συστήματα ατμού. Λόγω του μεγάλου κόστους των συστημάτων ανάκτησης συμπυκνωμάτων συγκριτικά με το φθινό κόστος της ενέργειας, παλαιότερα δεν υπήρχε συχνή εφαρμογή αυτού του μέτρου ενεργειακής εξοικονόμησης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατόν να εξεταστεί η ανάκτηση των συμπυκνωμάτων, όπως σε ορισμένες διεργασίες, όπου ο ατμός χρησιμοποιείται απευθείας στη διαδικασία ή σε περιπτώσεις, όπου ο ατμός μπορεί να μολυνθεί από επικίνδυνες ουσίες κατά τη διεργασία και όταν για λόγους ασφαλείας το συμπύκνωμα απορρίπτεται. Ωστόσο, ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις, με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας είναι δυνατή και επιθυμητή η αξιοποίηση της ενεργειακής αξίας του συμπυκνώματος (Λάλια - Καντούρη, Μ., 2001).

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

4.1 Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας

Για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανίας ο ατμολέβητας θα πρέπει να καλύπτει όλες τις διεργασίες κατά την παραγωγική διαδικασία. Η εγκατάσταση αποτελεί μια κονσερβοποιία όπου τα στάδια παράγωγης χωρίζονται:

1. Στην παραλαβή, αποθήκευση και συντήρηση του προϊόντος
2. Την προετοιμασία - επεξεργασία πριν την παραγωγική διαδικασία
3. Την τοποθέτηση του προϊόντος σε κονσέρβα η βάζο και το πέρασμα αυτού σε μηχανή σφράγισης δοχείου ή αντίστοιχα σε μηχανήμα τοποθέτησης και σφράγισης καπακιού για να επιτευχθεί η σωστή αεροστεγανότητα για την αποφυγή μόλυνσης του προϊόντος. Πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό το στάδιο είναι η συνεχής ροή ατμού στο μηχανήμα σφράγισης καπακιού διότι η ροή ατμού κατά την τοποθέτηση του καπακιού δημιουργεί κενό μέσα στο βάζο μεγαλώνοντας τον συντελεστή ασφάλειας που ορίζουν οι προδιαγραφές.
4. Αφού το βάζο – δοχείο σφραγιστεί ανάλογα το προϊόν θα πρέπει να δεχθεί την ανάλογη θερμική επεξεργασία. Η πρώτη θερμική επεξεργασία είναι η διαδικασία της παστερίωσης όπου το προϊόν βρίσκεται μέσα σε ένα ανοξείδωτο φούρνο συνεχής ροής στον παστεριωτή. Κατά το πρώτο στάδιο και για διάρκεια μισής ώρας εμποτίζεται με νερό θερμοκρασίας 80 – 86 °C έτσι ώστε να εξαλειφθεί ένα μεγάλο μέρος των παθογόνων μικροοργανισμών και στο δεύτερο στάδιο το προϊόν ψύχεται για διάρκεια μισής ώρας έτσι ώστε ομαλά να φτάσει την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στις περιπτώσεις όπου το προϊόν πρέπει να δεχθεί θερμική επεξεργασία στους 120-125 °C για συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σε συγκεκριμένη πίεση τότε πρέπει να επιλεγεί η διαδικασία της αποστείρωσης η οποία επιτυγχάνεται μέσα σε αυτόματους κλιβάνους.



Εικόνα 4.1 Παστεριωτής συνεχής ροής βάζων
(<https://ferlo.com/en/portfolio/pasteurizadoresenfriadores/>)



Εικόνα 4.2 Κλίβανος Αποστειρωτής
(<https://ferlo.com/autoclaves/autoclave-estatica/>)

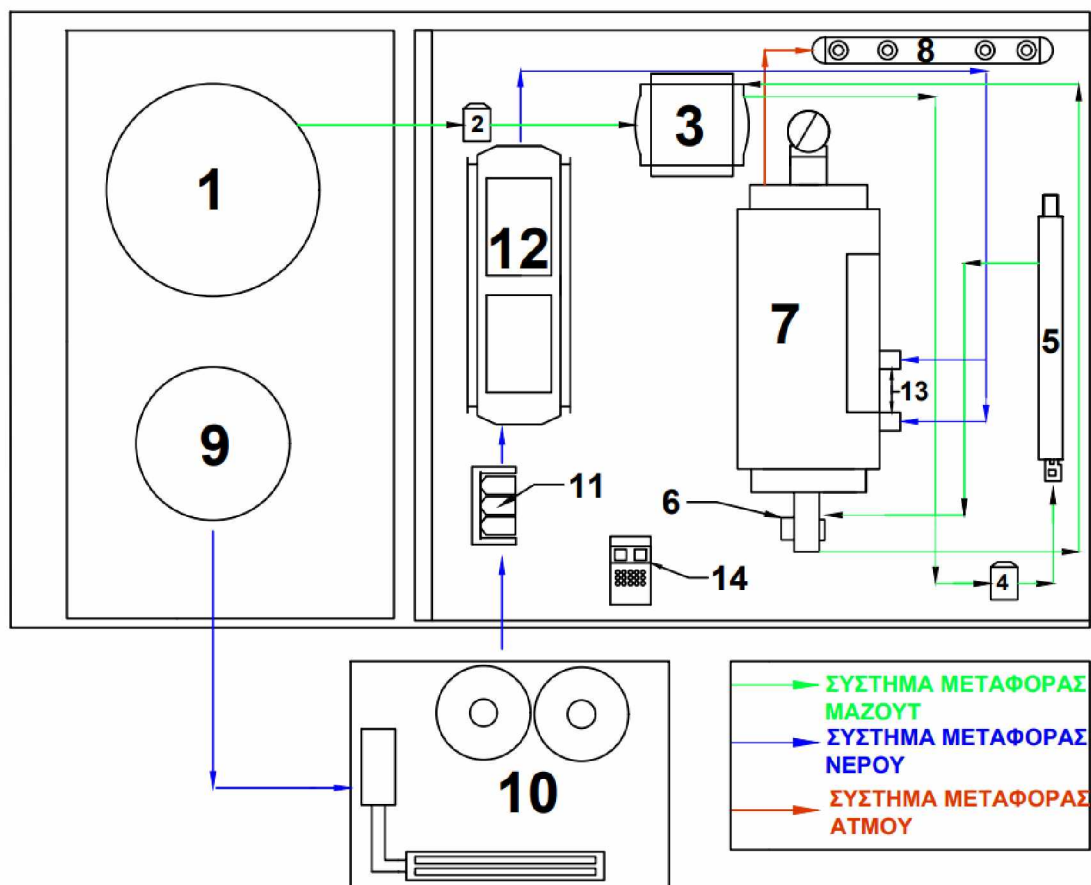
5. Όταν τα δοχεία - βάζα εξέλθουν από τον αποστειρωτή ή παστεριωτή αντίστοιχα η παραγωγική διαδικασία φτάνει στο τελευταίο στάδιο που είναι η συσκευασία. Σε εκείνο το στάδιο το προϊόν ετικετάρεται, συσκευάζεται και τοποθετείται σε παλέτες και είναι έτοιμο να φορτωθεί.

4.2 Περιγραφή μονάδας ατμοπαραγωγής

Κατά την περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανικής εγκατάστασης διακρίνεται ότι οι ανάγκες που πρέπει να καλύψει ο λέβητας κατά κύριο λόγο είναι οι απαιτήσεις των παστεριωτών και των κλιβάνων αποστείρωσης καθώς και κάποιων μεμονωμένων συστημάτων σφράγισης, θέρμανσης χώρων και ρευστών. Για την θέρμανση των παστεριωτών χρησιμοποιούνται εναλλάκτες κελύφους ομοκεντρικής ομοροής και για τους αποστειρωτές πλακοειδής εναλλάκτες αντιρροής.

Η εγκατάσταση του λεβητοστασίου χωρίζεται σε τέσσερα συστήματα έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει ομαλά και αποδοτικά.

- Σύστημα τροφοδοσίας νερού
- Σύστημα τροφοδοσίας καύσιμου
- Σύστημα μεταφοράς ατμού
- Σύστημα μεταφοράς καυσαερίων



Σχήμα 4.1 Τυπική διάταξη βιομηχανικού λεβητοστασίου

1. Δεξαμενή τροφοδοσίας μαζούτ 100tn
2. Κοχλιοφόρα αντλία μαζούτ
3. Δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης μαζούτ 5tn
4. Κοχλιοφόρα αντλία μαζούτ
5. Σωληνωτός προθερμαντήρας μαζούτ
6. Καυστήρας
7. Ατμολέβητας
8. Συλλέκτης ατμού
9. Δεξαμενή τροφοδοσίας ακατέργαστου νερού
10. Σύστημα επεξεργασίας νερού με αντίστροφη ώσμωση
11. Αντλίες μεταφοράς νερού
12. Θερμοδοχείο
13. Αντλίες μεταφοράς νερού από θερμοδοχείο στον ατμολέβητα
14. Ηλεκτρολογικός πίνακας

4.2.1 Σύστημα τροφοδοσίας νερού

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.1 το σύστημα μεταφοράς του νερού της εγκατάστασης ξεκινά από την δεξαμενή τροφοδοσίας νερού (αριθμός 9 στο Σχ. 4.1). Το νερό όμως δεν είναι κατάλληλα επεξεργασμένο έτσι ώστε να τροφοδοτηθεί ο λέβητας με αυτό. Για αυτόν τον λόγο πρέπει να εισέλθει σε ένα σύστημα επεξεργασίας νερού αντιστροφής ώσμωσης (Εικ. 4.1) έτσι ώστε να έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά που ορίζει ο κατασκευαστής βάσει ευρωπαϊκού προτύπου (αριθμός 10 στο Σχ. 4.1). Η επεξεργασία που δέχεται το νερό τροφοδοσίας του λέβητα κατά την είσοδο στο σύστημα αντιστροφής ώσμωσης είναι η εξής.

1. Συλλογή ακατέργαστου νερού σε δεξαμενή που χλωριώνεται
2. Τροφοδότηση στην είσοδο του συστήματος και φιλτράρισμα σε τρία παράλληλα φίλτρα θολότητας
3. Αποχλωρίωση προσθέτοντας διάλυμα SMBS
4. Φιλτράρισμα στα φίλτρα φυσιγγίων που είναι εγκατεστημένα στην είσοδο της αντιστροφής ώσμωσης
5. Κατά την παραγωγή του αφαλατωμένου νερού γίνεται διόρθωση του pH προσθέτοντας διάλυμα NaOH.



Εικόνα 4.1 Σύστημα αντίστροφης ώσμωσης

Κατά την έξοδο του πλέον κατάλληλα επεξεργασμένου νερού και με την βοήθεια μιας διάταξης φυγοκεντρικών αντλιών (αριθμός 11 στο Σχ. 4.1) το νερό έχει αποκτήσει την κατάλληλη πίεση έτσι ώστε να εισαχθεί στο θερμοδοχείο (αριθμός 12 στο Σχ. 4.1). Το θερμοδοχείο είναι η αποθήκη του νερού τροφοδοσίας του ατμολέβητα εκεί το νερό προθερμαίνεται και φτάνει θερμοκρασία 103 °C πρέπει να είναι διαστασιολογημένο έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτεί τον λέβητα τουλάχιστον για μία ώρα λειτουργίας σε πλήρες φορτίο. Για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του λέβητα το θερμοδοχείο συνοδεύεται από ένα δοχείο απαερίωσης το οποίο αποβάλλει τα διαλυμένα αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο και άλλα απαέρια έτσι ώστε να τηρεί τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές βάσει του πρότυπου (EN-12953-10).

Table 5-1 — Feedwater for steam boilers (except attemperator spray water) and hot water boilers

Parameter	Unit	Feedwater for steam boilers		Make-up water for hot water boilers
Operating pressure	bar (= 0,1 MPa)	> 0,5 to 20	> 20	total range
Appearance	—	clear, free from suspended solids		
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	not specified, only guide values relevant for boiler water see table 5-2		
pH value at 25 °C ^a	—	> 9,2 ^b	> 9,2 ^b	> 7,0
Total hardness (Ca + Mg)	mmol/l	< 0,01 ^c	< 0,01	< 0,05
Iron (Fe) concentration	mg/l	< 0,3	< 0,1	< 0,2
Copper (Cu) concentration	mg/l	< 0,05	< 0,03	< 0,1
Silica (SiO ₂) concentration	mg/l	not specified, only guide values for boiler water relevant, see table 5-2		—
Oxygen (O ₂) concentration	mg/l	< 0,05 ^d	< 0,02	—
Oil/grease concentration (see EN 12953-6)	mg/l	< 1	< 1	< 1

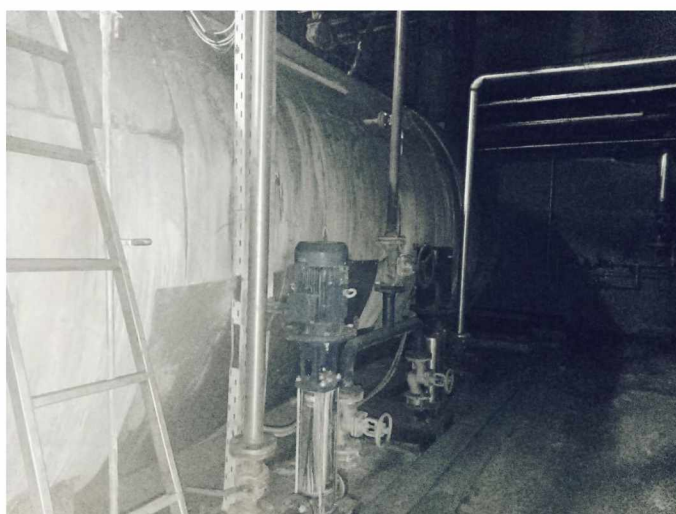
Σχήμα 4.2 Προδιαγραφές νερού τροφοδοσίας βάση πρότυπου (EN-12953-10)

(<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/df665ab5-fb92-42bf-bc9b-5a86463b4b49/sist-en-12953-10-2004>)



Εικόνα 4.2 Θερμοδοχείο

Τέλος, το νερό εισέρχεται στις αντλίες τροφοδοσίας του λέβητα (αριθμός 13 στο Σχ. 4.1) όπου το έργο τους είναι να κρατάνε πάντα την στάθμη του νερού του στο επιθυμητό επίπεδο.



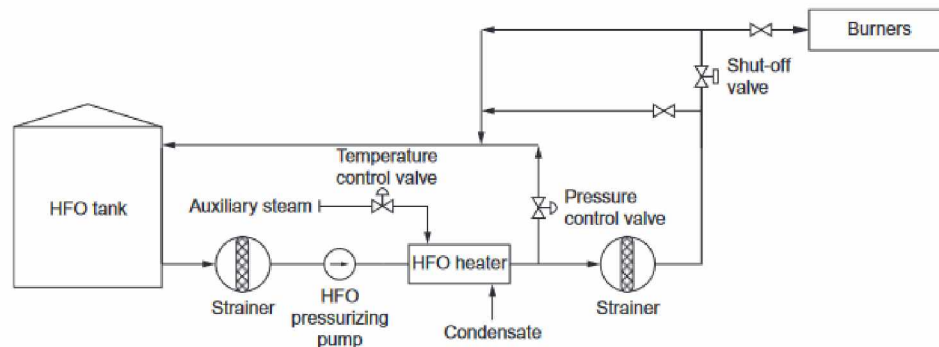
Εικόνα 4.3 Αντλίες τροφοδοσίας ατμολέβητα

4.2.2 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Ο καυστήρας της εγκατάστασης χρησιμοποιεί ως καύσιμο το μαζούτ (HFO) (Heavy Fuel Oil). Λόγω της ανάγκης της βιομηχανίας να δουλεύει ακατάπαυστα, ο καυστήρας του ατμολέβητα πρέπει να έχει ένα σύστημα σωστής παροχής καύσιμου έτσι ώστε να μην υπάρχουν παύσεις κατά την διάρκεια της παράγωγης του ατμού. Γι'αυτό τον λόγο η εγκατάσταση έχει μια κεντρική δεξαμενή αποθήκευσης μαζούτ 100 tn (αριθμός 1 στο Σχ. 4.1) η οποία τροφοδοτεί με μαζούτ μέσω κοχλιοφόρας αντλίας (αριθμός 2 στο Σχ. 4.1) υψηλής πίεσης σε μια μικρότερη δεξαμενή αποθήκευσης ημερήσιας κατανάλωσης 5 tn (αριθμός 3 στο Σχ. 4.1). Μέσα στις δεξαμενές υπάρχουν αντιστάσεις οι οποίες βοηθούν το μαζούτ να προθερμαίνεται για να εξασφαλιστεί ότι διατηρείται σε κατάσταση αντλήσιμης ποιότητας.

Καθώς το καύσιμο αναρροφάται από την αντλία (αριθμός 4 στο Σχ. 4.1) μεταφέρεται στον σωληνωτό προθερμαντήρα (αριθμός 5 στο Σχ. 4.1) έχοντας ως εργαζόμενο μέσο ηλεκτρικές αντιστάσεις και ατμό, εκεί το καύσιμο φτάνει την επιθυμητή θερμοκρασία των 120°C καθώς και στο απαιτούμενο ιξώδες έτσι ώστε να τροφοδοτηθεί στον καυστήρα (αριθμός 6 στο Σχ. 4.1) για να γίνει ο σωστός ψεκασμός και η καύση. Πριν την αναρρόφηση της αντλίας από την δεξαμενή αλλά και στην έξοδο του προθερμαντήρα υπάρχει φίλτρο για

να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη στον εξοπλισμό (ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, βαλβίδες ελέγχου πίεσης) από σωματίδια ρύπων και ακαθαρσίες οι οποίες προέρχονται από την εγκατάσταση του αγωγού. Αφού τροφοδοτηθεί καύσιμο στον καυστήρα πρέπει να υπάρχει και μία γραμμή επιστροφής της πλεονάζουσας ποσότητας καύσιμου πίσω στην δεξαμενή 5^{τη} έτσι ώστε να διατηρείται η κυκλοφορία του θερμού μαζούτ από την δεξαμενή έως το μπροστινό μέρος του λέβητα για οποιαδήποτε περίπτωση ανάγκης.

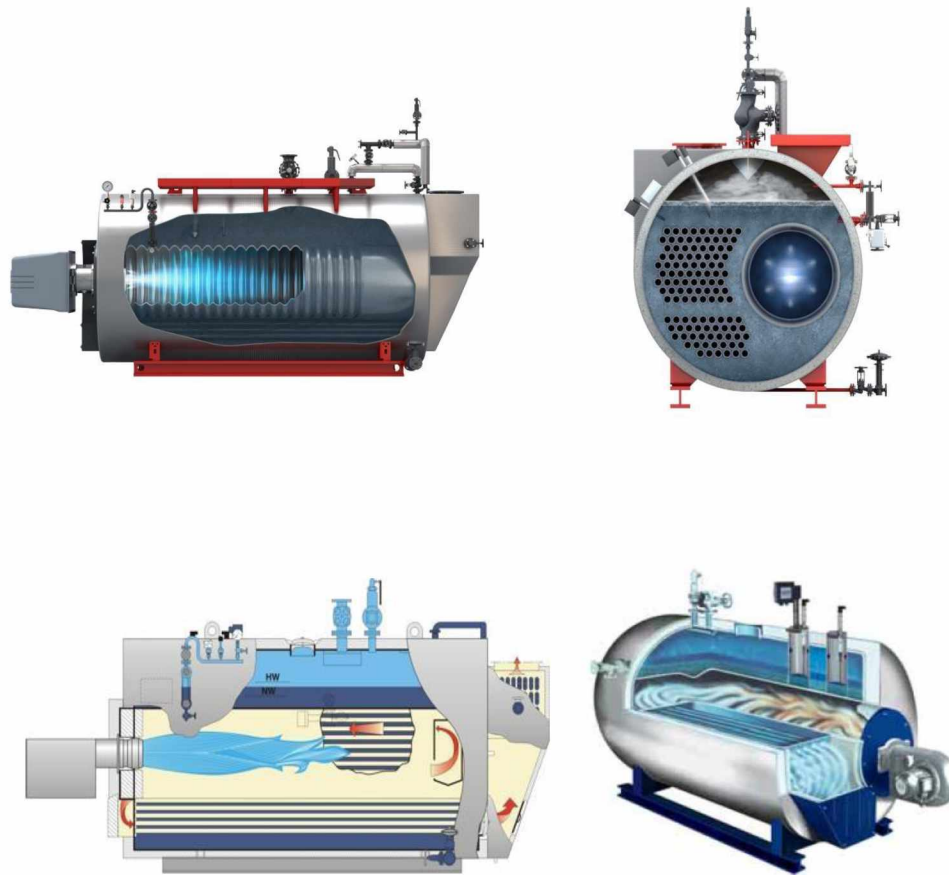


Σχήμα 4.3 Σύστημα τροφοδοσίας μαζούτ

(Sarkar, D. K. (2017). Flushing of Fuel Oil Piping System. Thermal Power Plant)

4.2.3 Σύστημα μεταφοράς ατμού

Η εγκατάσταση του αμοπαγωγού αποτελείται από έναν φλογοαυλωτό ατμολέβητα τριών περασμάτων της εταιρίας Loos International (αριθμός 7 στο Σχ. 4.1). Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης κατηγορίας λεβητών είναι ότι στο μεγάλο κυλινδρικό τύμπανο (υδροθάλαμος) υπάρχει μέσα τοποθετημένος ένας μεγάλος σε διάμετρο κατά μήκος του τυμπάνου σωλήνας κυματοειδούς μορφής που ονομάζεται φλογοσωλήνας. Σε αυτόν γίνεται η καύση του καύσιμου αποτελώντας το πρώτο πέρασμα των καυσαερίων (Εικ. 4.4). Η κυματοειδής μορφή του εμπεριέχει πολλαπλά οφέλη δημιουργεί μια τριβώδη ροή στο καυσαέριο που βοηθά στην ανάληψη όλων των διαστολών αυξάνοντας το μήκος του σωλήνα έχοντας ως αποτέλεσμα της αύξησης του εμβαδού του με αποτέλεσμα την βελτίωση της μετάδοσης θερμότητας.



Εικόνα 4.4 Ατμολέβητας τριών περασμάτων UNIVERSAL UL-S
 (<https://www.specifiedby.com/bosch-industriekessel/universal-steam-boiler-ul-s-ul-sx>)

Στην συνέχεια κατά την έξοδο από τον φλογοσωλήνα το καυσαέριο συνεχίζει σε δύο συστοιχίες αεριοαυλών ως δεύτερη και τρίτη διαδρομή παράλληλα στο τύμπανο έτσι ώστε να αυξηθεί η συναλασσόμενη θερμική ισχύς. Κατά την έξοδο του καυσαερίου από το τρίτο πέρασμα καταλήγει στην καπνοδόχο όπου στην συνέχεια απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα. Τέλος, το νερό το οποίο βρίσκεται μέσα στο τύμπανο του λέβητα θερμαίνεται μετατρέπεται σε ατμό και μεταφέρεται προς στο συλλέκτη ατμού (αριθμός 8 στο Σχ. 4.1) όπου εκεί μπορεί να μεταφερθεί ξεχωριστά σε κάθε τελικό καταναλωτή.

4.2.4 Σύστημα μεταφοράς καυσαερίων

Η αρχή του συστήματος καυσαερίων βρίσκεται στο τέλος του λέβητα και επιτελεί τον σκοπό της ασφαλούς απομάκρυνσης των καυσαερίων που παράγονται κατά τη διαδικασία της καύσης. Αυτό περιλαμβάνει τους σωλήνες εξαγωγής καυσαερίων εντός και εκτός του λεβητοστασίου, την καμινάδα και πρόσθετα ενσωματωμένα εξαρτήματα, όπως διαστολείς, σιγαστήρες ή καπνοδόχους αερίου. Σημαντική είναι η προσεκτική εναρμόνιση των εξαρτημάτων του συστήματος καύσης, δηλαδή στην περίπτωση του καυστήρα, του ανεμιστήρα, του λέβητα, των σωλήνων εξαγωγής, των σιγαστήρων και της καμινάδας, ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία μακροπρόθεσμα υπό όλες τις συνθήκες εργασίας. Εάν αντιθέτως τα προαναφερθέντα εξαρτήματα δεν ταιριάζουν μεταξύ τους ή εκτελούνται λανθασμένα τότε αυτό μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση δονήσεων, θορύβων, αυξημένων εκπομπών ή ασταθούς καύσης σε ολόκληρο το σύστημα.

Οι εθνικοί και τοπικοί κανονισμοί και τα ισχύουσα πρότυπα καθορίζουν τη διαστασιολόγηση των συστημάτων καυσαερίων (YA-10735/651/ΦΕΚ 2656 Β/2012). Οι αγωγοί καυσαερίων πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά και να είναι ανθεκτικοί στις επιδράσεις των καυσαερίων και της θερμότητας. Το υλικό ολόκληρου του συστήματος καυσαερίων ατμολέβητα πρέπει να είναι κατάλληλο για θερμοκρασίες έως και 350°C. Ο σχεδιασμός του συστήματος καυσαερίων και του ύψους της καμινάδας βασίζεται στις απαιτήσεις της ισχύουσας νομοθεσίας.

- Σωλήνας εξάτμισης

Αυτός ο σωλήνας συνδέει την είσοδο της καμινάδας με το άκρο του λέβητα. Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει είναι ότι πρέπει να οδηγείται όσο το δυνατόν πιο άμεσα, να είναι αεροδυναμικά σταθερός, και να έχει λίγες γωνίες ώστε να γίνεται διατήρηση των απωλειών πίεσης και θερμότητας στο ελάχιστο δυνατό. Ο σωλήνας εξάτμισης συνδέει το άκρο του λέβητα με την είσοδο της καμινάδας. Πρέπει να οδηγείται όσο το δυνατόν πιο άμεσα να είναι αεροδυναμικά αποδοτικός και να έχει λίγες γωνίες, ώστε να διατηρούνται οι απώλειες πίεσης και θερμότητας στο ελάχιστο. Η απότομη διεύρυνση ή το στένεμα του σωλήνα πρέπει να αποφεύγονται θέτοντας ως μέγιστη γωνία μετάβασης τις 30°. Η σύνδεση του σωλήνα εξάτμισης με την καμινάδα πρέπει να πραγματοποιείται υπό γωνία 30-45°.

- Σιγαστήρας καυσαερίων

Η χρησιμότητα του σιγαστήρα καυσαερίων όπως αποκαλύπτει και το όνομα του είναι η μείωση της εκπομπής του θορύβου της καύσης. Η εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας του σιγαστήρα στηρίζεται στο σχεδιασμό του βάσει των συχνοτήτων που εκπέμπει ο καυστήρας, την έξοδο του ατμού και τις καθορισμένες εγκεκριμένες εκπομπές θορύβου.

- Καμινάδα

Η ακίνδυνη απομάκρυνση των καυσαερίων και των ρύπων που περιέχει στο περιβάλλον δηλαδή, η εξασφάλιση τη απόρριψης τους στο ελεύθερο ρεύμα αέρα χωρίς διακοπή και η επαρκής αραίωσή τους αποτελούν τον σκοπό της καπνοδόχου. Χαρακτηριστικά της καπνοδόχου αποτελούν η αποφυγή μεγάλων αγωγών καυσαερίων που επιτυγχάνεται με την άμεση επαφή με το λεβητοστάσιο και η τοποθέτηση της με τέτοιο τρόπο ώστε η απομάκρυνση των καυσαερίων να γίνεται κάθετα προς τα πάνω. Επιπλέον, δεν επιτρέπεται η παρεμπόδιση της ελεύθερης ροής του αέρα με γωνίες ή στέγαστρα βροχής.

- Ύψος καμινάδας

Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος για την καμινάδα καθορίζεται από τις εθνικές απαιτήσεις για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

- Διατομή καπνοδόχου και ρεύμα καπνοδόχου

Η θερμοκρασία από τον εξωτερικό αέρα είναι χαμηλότερη από των καυσαερίων στην καμινάδα. Αυτό δημιουργεί μια δύναμη ανύψωσης το "ρεύμα καπνοδόχου" στις διατομές της καμινάδας και του ανερχόμενου σωλήνα εξαγωγής. Έτσι υποστηρίζεται η απομάκρυνση των καυσαερίων και δημιουργείται αρνητική πίεση στην καμινάδα και στα τμήματα του σωλήνα εξάτμισης. Το μέγεθος του ρεύματος της καπνοδόχου συνδέεται επίσης με τη διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με την ατμόσφαιρα μέσω της πυκνότητας. Η επιλεγείσα διατομή της καπνοδόχου πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε οι ανυψωτικές δυνάμεις να υπερνικήσουν την αντίσταση ροής στην καπνοδόχο από την πλευρά του λέβητα. Από την άλλη πλευρά όμως, η διατομή δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη, ώστε τα καυσαέρια να εξέρχονται από την καπνοδόχο με ταχύτητα τουλάχιστον 6m/s και να μην υπάρχει υπερβολικά υψηλή αρνητική πίεση στο άκρο του λέβητα, ιδίως σε πολύ ψηλές καπνοδόχους. Ο υπολογισμός του σωλήνα καυσαερίων πρέπει πάντα να γίνεται από εξειδικευμένο εργολάβο ή από τον κατασκευαστή του λέβητα.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^Ο ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ

5.1 Καυστήρας Γενικά

Ένας καυστήρας παραπέμπει σε μια συσκευή που παράγει θερμότητα, που χρησιμοποιείται όχι μόνο από τον κοινό άνθρωπο για να αντιμετωπίσει την μειωμένη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του κρύου αλλά και από βιομηχανίες για διάφορους σκοπούς. Όταν χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες, αυτό γίνεται με σκοπό την κατασκευή κάποιου χάλυβα και την προσφορά θερμικών επεξεργασιών στα υλικά, προκειμένου να αλλοιωθεί η μοριακή δομή που φέρουν. Οι καυστήρες γενικά είναι σχεδιασμένοι για να απομακρύνουν τον αέρα σε μια συνεχή κίνηση, καθώς το καύσιμο εκπέμπει θερμότητα μέσω του στομίου στο σημείο εκκίνησης του καυστήρα.

Η διαδικασία λειτουργίας του καυστήρα είναι η εξής: Αρχικά, θερμαίνεται το καύσιμο. Στη συνέχεια, ο θερμός αέρας που δημιουργείται μετακινείται από το μοτέρ τροφοδοσίας που τοποθετείται στον καυστήρα. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα ο θερμοστάτης να ειδοποιηθεί για ανάγκη θέρμανσης. Η βαλβίδα καυσίμου ανοίγει, μεταφέροντας καύσιμο στους καυστήρες. Εκείνη τη στιγμή, η εισαγωγή αέρα πραγματοποιείται με αέρα από τον εξωτερικό χώρο του λεβητοστασίου για να αναμιχθεί με το καύσιμο. Το μείγμα καυσίμου με το αέρα, που προστίθεται στη συγκεκριμένη συσκευή, κινείται μέσα στους σωλήνες και τους εναλλάκτες θερμότητας. Το μείγμα αυτό πετρελαίου αέρα αναφλέγεται από τον σπινθήρα των ηλεκτροδίων πραγματοποιώντας την καύση (Κακας, S., 1991).

5.2 Κατηγοριοποίηση Καυστήρων

Από τους καυστήρες που κυκλοφορούν στην αγορά είναι διακριτές τρεις κατηγορίες, στις οποίες μπορούν να υπαχθούν, και εξαρτάται από:

1. το είδος του καυσίμου που αξιοποιείται,
2. την απαιτούμενη από την εγκατάσταση θερμική ισχύ και
3. την αντίθλιψη του λέβητα, με τον οποίο θα συνεργαστεί.

Ο τρόπος έγχυσης (ή τροφοδοσίας) και καύσης του καυσίμου στον καυστήρα εξαρτάται κατά βάση από το είδος του καυσίμου. Έτσι αυτοί διακρίνονται σε καυστήρες στερεών καυσίμων, υγρών καυσίμων, αέριων καυσίμων και σε καυστήρες μικτής καύσης (συνήθως υγρών και αέριων καυσίμων).

Ως προς του λέβητες θερμικής ισχύος, υπάρχουν οι καυστήρες βιομάζας, ευρέως γνωστοί για την αντοχή, την αξιοπιστία και τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους, οι καυστήρες βιοαερίου είναι σχεδιασμένοι για αέριο και όχι για την καύση εντός του κύριου καυστήρα φυσικού αερίου. Αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές.

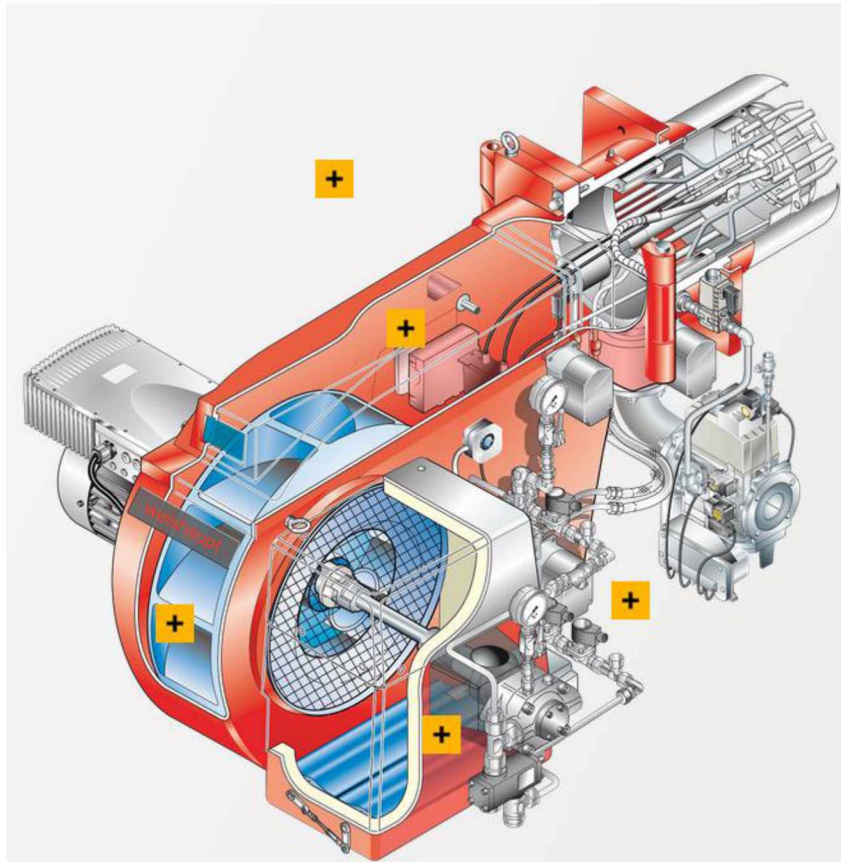
Οι καυστήρες υγρών καυσίμων είναι συσκευή θέρμανσης που βοηθά στην καύση των υγρών θέρμανσης και διαφόρων άλλων παρόμοιων καυσίμων. Αυτοί έχουν επίσης οριστεί ως οι κύριοι τύποι βιομηχανικού καυστήρα, όπως είναι διαθέσιμοι με διακριτές τεχνικές προδιαγραφές και στόχο να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των βιομηχανιών. Είναι ειδικά διαμορφωμένοι για καύση ελαφρού πετρελαίου (Diesel) και βαρέως τύπου πετρελαίου (μαζούτ) υπό την προϋπόθεση ότι έχει προηγηθεί προθέρμανσή του.

Από την άλλη, οι καυστήρες αέριων καυσίμων είναι ικανοί για καύση φυσικού αερίου (NG) & υγραερίου (LPG). Αναφέρονται σε συσκευή, σχεδιασμένη να παράγει φλόγα για να θερμαίνει τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε περαιτέρω εφαρμογές. Αυτοί οι καυστήρες βρίσκονται κυρίως στις βιομηχανίες τροφίμων και σε διάφορους άλλους βιομηχανικούς τομείς. Οι καυστήρες αυτοί, σε αντίθεση με των υγρών καυσίμων, διαθέτουν ένα σύστημα βαλβίδων, ρυθμιστών πίεσης, μανομέτρων και λοιπού εξοπλισμού με σκοπό τη δημιουργία ελεγχόμενης πίεσης και παροχής εισαγωγής του αερίου στον καυστήρα (Λέφας, Κ., 1982).

Μια άλλη κατηγορία καυστήρων είναι αυτή με βάση τη θερμική ισχύ τους. Ανάλογα, λοιπόν, με το μέγεθος ισχύος τους αυτοί μπορούν να διακριθούν σε χαμηλής, μεσαίας και μεγάλης ισχύος. Οι καυστήρες έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν την ισχύ τους, αλλά αυτό εξαρτάται πάντα από το είδος του καυστήρα. Έτσι, στην αγορά υπάρχουν μονοβάθμιοι, διβάθμιοι ή πολυβάθμιοι και αυτόματοι καυστήρες. Οι πρώτοι ονομάζονται έτσι γιατί δεν μπορούν να μεταβάλλουν την ισχύ τους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και περιορίζονται σε μία ισχύ καύσης. Οι δεύτεροι μπορούν να εναλλάσσουν την τροφοδοσία τους σε δύο ή περισσότερες συνθήκες ανάλογα με το μέγεθος της ισχύος τους, πράγμα που συμβαίνει είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα. Τέλος, στους αυτόματους καυστήρες η αλλαγή στην παροχή τροφοδοσίας γίνεται αυτόματα.

Η τελευταία κατηγορία καυστήρων διακρίνεται με βάση την αντίθλιψη. Αυτή αναφέρεται στο δείκτη που αναπαριστά το σύνολο των αντιστάσεων που συναντούν τα καυσαέρια κατά τη διέλευσή τους από τις επιφάνειες του λέβητα μέχρι να φτάσουν μέσω του καπναγωγού στην καπνοδόχο. Έτσι, ο καυστήρας επιλέγεται ώστε να έχει την κατάλληλη κατάθλιψη. Η τελευταία ορίζεται ως η πίεση που έχει ο αέρας όταν εισέρχεται στον

καυστήρα, με σκοπό να πραγματοποιηθεί η καύση. Για να υπάρχει ορθή λειτουργία στον καυστήρα, η πίεση αυτή πρέπει να ξεπερνά τις αντιστάσεις της αντίθλιψης κατά την πορεία τους εντός του λέβητα (Rayarolu, K., 2009).



Εικόνα 5.1 Βιομηχανικός καυστήρας

5.3 Καύσιμα που χρησιμοποιούν οι ατμολέβητες

5.3.1 Θερμογόνος δύναμη καυσίμων

Η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται στην ποσότητα της θερμότητας που παράγεται κατά μονάδα όγκου μιας ουσίας κατά την πλήρη καύση. Εκφράζεται σε kilojoules/κιλό. Η θερμογόνος δύναμη είναι η θερμότητα που περιέχεται στα καύσιμα ή τα τρόφιμα, η οποία προσδιορίζεται από την πλήρη καύση καθορισμένων ποσοτήτων σε σταθερή πίεση και σε κανονικές συνθήκες.

Η θερμογόνος δύναμη χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό της απόδοσης των καυσίμων. Τα καύσιμα έχουν ανώτερα και κατώτερα επίπεδα θερμογόνου δύναμης. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμογόνος δύναμη, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του καυσίμου και καλύτερο το καύσιμο. Η ποσότητα της θερμότητας που παράγεται από διαφορετικούς τύπους καυσίμων ποικίλλει, ανάλογα με τη φύση του στοιχείου και την αναλογία των στοιχείων που

υπάρχουν σε αυτά. Όταν τα καύσιμα καίγονται, έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια στις μονάδες παραγωγής θερμικής ενέργειας. Το καλύτερο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμογόνο δύναμη του. (Κουιμτζής, Ι., 2015).

5.3.2 Πετρέλαιο

Στην Ελλάδα ο πιο συνηθισμένος τρόπος θέρμανσης των χώρων είναι μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων θερμαντικών σωμάτων. Η διαδικασία περιλαμβάνει την καύση του πετρελαίου, ως καυσίμου, σε έναν καυστήρα, τη μεταφορά της θερμότητας μέσω του νερού και η απόδοσή της στον αέρα, μέσω των σωμάτων που αναφέρθηκαν.

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα φυσικό, κιτρινομελανό υγρό, που βρίσκεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς κάτω από την επιφάνεια της γης. Συνήθως διυλίζεται σε διάφορους τύπους καυσίμων. Τα συστατικά του πετρελαίου διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται κλασματική απόσταξη, δηλαδή διαχωρισμός ενός υγρού μείγματος σε κλάσματα που διαφέρουν ως προς το σημείο βρασμού μέσω απόσταξης, συνήθως χρησιμοποιώντας μια στήλη κλασματοποίησης. Αποτελείται από φυσικούς υδρογονάνθρακες διαφόρων μοριακών βαρών και μπορεί να περιέχει διάφορες οργανικές ενώσεις.

Το πετρέλαιο περιλαμβάνει όχι μόνο το αργό πετρέλαιο, αλλά όλους τους υγρούς, αέριους και στερεούς υδρογονάνθρακες. Υπό συνθήκες επιφανειακής πίεσης και θερμοκρασίας, οι ελαφρύτεροι υδρογονάνθρακες μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο υπάρχουν ως αέρια, ενώ το πεντάνιο και οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες έχουν τη μορφή υγρών ή στερεών. Ωστόσο, σε μια υπόγεια δεξαμενή πετρελαίου οι αναλογίες αερίου, υγρού και στερεού εξαρτώνται από τις υπόγειες συνθήκες και από το διάγραμμα φάσεων του μίγματος πετρελαίου.

Τέλος, το πετρέλαιο και ειδικότερα η καύση του έχει βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον και δεν είναι ιδιαίτερα οικονομική πηγή ενέργειας σε σχέση με το φυσικό αέριο ή το υγραέριο. που θα αναλυθούν παρακάτω (Smil, V., 2017).

5.3.3 Υγραέριο

Το υγραέριο, γνωστό ως liquefied petroleum gas (LPG), είναι μία από τις πολλές μίξεις υγρών των πτητικών υδρογονανθράκων, το προπένιο, το προπάνιο, το βουτένιο και το βουτάνιο. Χρησιμοποιήθηκε ήδη από το 1860 ως φορητή πηγή καυσίμου και έκτοτε η παραγωγή και η κατανάλωσή του τόσο για οικιακή όσο και για βιομηχανική χρήση έχουν

επεκταθεί. Ένα τυπικό μίγμα του εμπορίου μπορεί επίσης να περιέχει αιθάνιο και αιθυλένιο, καθώς και μια πτητική μερκαπτάνη, ένα αρωματικό που προστίθεται ως προφύλαξη ασφαλείας.

Το υγραέριο ανακτάται από το «υγρό» φυσικό αέριο (αέριο με συμπυκνώσιμες βαριές πετρελαϊκές ενώσεις) με απορρόφηση. Το ανακτηθέν προϊόν έχει χαμηλό σημείο βρασμού και πρέπει να αποσταχθεί για να αφαιρεθούν τα ελαφρύτερα κλάσματα και στη συνέχεια να υποβληθεί σε επεξεργασία για να αφαιρεθεί το υδρόθειο, το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό. Το τελικό προϊόν μεταφέρεται με αγωγούς και με ειδικά κατασκευασμένα θαλάσσια δεξαμενόπλοια. Οι μεταφορές με φορτηγά, σιδηροδρομικές και φορτηγίδες έχουν επίσης αναπτυχθεί, ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Το υγραέριο φτάνει στον οικιακό καταναλωτή σε φιάλες υπό σχετικά χαμηλές πιέσεις. Το μεγαλύτερο μέρος του παραγόμενου υγραερίου χρησιμοποιείται σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης και το δεύτερο μεγαλύτερο μέρος ως πρώτη ύλη για χημικά εργοστάσια. Το υγραέριο χρησιμοποιείται συνήθως ως καύσιμο για ψησταριές αερίου και εστίες φούρνου αερίου, για τζάκια αερίου και σε φορητές θερμάστρες. Στην Ευρώπη, οι θερμοσίφωνες υγραερίου είναι επίσης διαδεδομένοι. Χρησιμοποιείται επίσης ως καύσιμο κινητήρα και για εφεδρικές γεννήτριες. Σε αντίθεση με το ντίζελ, το υγραέριο μπορεί να αποθηκευτεί σχεδόν επ' αόριστον χωρίς υποβάθμιση (Kojima, M., 2011).

5.3.4 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο (ονομάζεται επίσης και ορυκτό αέριο) είναι ένα φυσικό αέριο μείγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων, που αποτελείται από μεθάνιο και συνήθως περιλαμβάνει ποικίλες ποσότητες άλλων ανώτερων αλκανίων, και μερικές φορές ένα μικρό ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, υδρόθειου ή ηλίου. Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο, άοσμο και εκρηκτικό, επομένως συνήθως προστίθεται μια μυρωδιά θείου (παρόμοια με τα σάπια αυγά) για την έγκαιρη ανίχνευση διαρροών. Το φυσικό αέριο σχηματίζεται όταν στρώματα φυτικής και ζωικής ύλης σε αποσύνθεση εκτίθενται σε έντονη θερμότητα και πίεση κάτω από την επιφάνεια της γης για εκατομμύρια χρόνια. Η ενέργεια που έλαβαν αρχικά τα φυτά από τον ήλιο αποθηκεύεται με τη μορφή χημικών δεσμών στο αέριο.

Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο, ένας μη ανανεώσιμος υδρογονάνθρακας, που χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας για θέρμανση, μαγείρεμα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιείται, επίσης, ως καύσιμο για οχήματα και ως χημική πρώτη ύλη για την κατασκευή πλαστικών και άλλων εμπορικά σημαντικών οργανικών χημικών ουσιών.

Η εξόρυξη και η κατανάλωση φυσικού αερίου είναι μια σημαντική και ολοένα αυξανόμενη κινητήρια δύναμη της κλιματικής αλλαγής. Είναι το ίδιο ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, όταν απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, και δημιουργεί διοξείδιο του άνθρακα όταν καίγεται. Το φυσικό αέριο μπορεί να καεί αποτελεσματικά για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, εκπέμποντας λιγότερα απόβλητα και τοξίνες στο σημείο χρήσης σε σχέση με άλλα ορυκτά καύσιμα και βιομάζα. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το φυσικό αέριο ως καύσιμο, τα περισσότερα, αλλά όχι όλα, πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών, συμπεριλαμβανομένου του νερού, ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές του εμπορεύσιμου φυσικού αερίου.

Λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του, δεν είναι εύκολη η αποθήκευση φυσικού αερίου ή η μεταφορά του με όχημα. Οι αγωγοί φυσικού αερίου δεν είναι πρακτικοί στους ωκεανούς, καθώς το αέριο πρέπει να ψύχεται και να συμπιέζεται, καθώς η τριβή στον αγωγό προκαλεί τη θέρμανση του αερίου. Πολλοί υφιστάμενοι αγωγοί στην Αμερική πλησιάζουν στο να φτάσουν τη χωρητικότητά τους, στη Δυτική Ευρώπη, το δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου είναι ήδη πυκνό. Νέοι αγωγοί σχεδιάζονται ή υπό κατασκευή στην Ανατολική Ευρώπη και μεταξύ κοιτασμάτων φυσικού αερίου στη Ρωσία, την Εγγύς Ανατολή, τη Βόρεια Αφρική και τη Δυτική Ευρώπη.

5.3.5 Πλεονεκτήματα φυσικού αερίου έναντι των συμβατικών υγρών καυσίμων

Η επανάσταση στην παραγωγή ενέργειας που επέφερε η ταχεία ανάπτυξη της μη συμβατικής ανάπτυξης φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες έχει δημιουργήσει ευρέως οικονομικά οφέλη. Το αποτέλεσμα ήταν η αυξημένη οικονομική ευημερία, η βελτίωση εκατομμυρίων ζώων μέσω άμεσης και έμμεσης απασχόλησης και του χαμηλού ενεργειακού κόστους, νέες πηγές κρατικών εσόδων και ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας για το έθνος.

Από την άλλη, τα οφέλη είναι και ενεργειακά. Όλες οι παγκόσμιες πηγές ενέργειας θα χρειαστούν να αυξήσουν την προσφορά τους για την αντίστοιχα αυξανόμενη ζήτηση έως το 2040, αλλά θα υπάρξει μια αξιοσημείωτη στροφή προς καθαρότερα καύσιμα, ιδιαίτερα το φυσικό αέριο. Για παράδειγμα, μέχρι αυτόν τον αιώνα, οι παραγωγοί ενέργειας δεν μπορούσαν να καταλάβουν, πώς να αξιοποιήσουν οικονομικά τις τεράστιες ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου που ήταν γνωστό ότι υπήρχαν σε σχιστόλιθο και άλλους «σφιχτούς» βραχώδεις σχηματισμούς. Αλλά μέχρι το 2040, αυτές οι αντισυμβατικές και άλλες πηγές πετρελαίου και φυσικού αερίου αναμένεται να καλύψουν περίπου το ένα πέμπτο των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών (CAPP, 2021).

Εξαιτίας της χημικής σύστασης του φυσικού αερίου, το τελευταίο μπορεί να επιτύχει υψηλό βαθμό απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας, κυρίως στις οικιακές εφαρμογές. Ειδικότερα, είναι σημαντικό ότι τα προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου αποτελούνται κατά κύριο λόγο από νερό (υδρατμούς), με αποτέλεσμα να καθίσταται εύκολα αξιοποιήσιμη η λανθάνουσα θερμότητα των καυσαερίων, μέσω της συμπύκνωσης. Αυτό το γεγονός συνεπάγεται την αύξηση πάνω από 20% της ωφέλιμης θερμότητας από την προσφερόμενη ποσότητα καυσίμου, προσφέροντας στον καταναλωτή μεγαλύτερη οικονομία ενέργειας.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα στην χρήση του φυσικού αερίου αποτελεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος. Το φυσικό αέριο παράγεται από τη διάσπαση οργανικών υλικών βαθιά κάτω από τη γη. Μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη της ζήτησης για καθαρότερη ενέργεια σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της αυξανόμενης ζήτησης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα του αυξανόμενου ρόλου που διαδραματίζει το φυσικό αέριο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ατμόσφαιρα καθίσταται πιο καθαρή και η χώρα μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδα που δεν έχουν παρατηρηθεί εδώ και δύο δεκαετίες.

Το φυσικό αέριο είναι το καθαρότερο ορυκτό καύσιμο και με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα από άλλα ορυκτά καύσιμα. Το φυσικό αέριο μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 60% σε σύγκριση με τον άνθρακα, όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάπτυξη φυσικού αερίου μέσω της υδραυλικής ρωγμής έχει επιφέρει σημαντικές μειώσεις στην εκπομπή των αερίων θερμοκηπίου στις Ηνωμένες Πολιτείες. Με την πάροδο του χρόνου, η πιθανή ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα θα μπορούσε να συνεχίσει να βελτιώνει τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα του φυσικού αερίου (XTO Energy, 2019).

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αναβάθμιση του καύσιμου σε υπάρχοντα ατμολέβητα βιομηχανικής εγκατάστασης. Ο ατμολέβητας έχει τοποθετημένο καυστήρα που χρησιμοποιεί καύσιμο βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ), στα πλαίσια της ενεργειακής αναβάθμισης θα γίνει αλλαγή του καύσιμου σε φυσικό αέριο. Για την υλοποίηση αυτού του έργου θα πρέπει να γίνει η επιλογή του κατάλληλου καυστήρα.

6.1 Επιλογή καυστήρα μαζούτ

Η μελέτη αφορά έναν φλογοαυλωτό ατμολέβητα βιομηχανικής εγκατάστασης όπου σε πλήρες φορτίο παράγει 12000 kg/h κορεσμένου ατμού. Η πίεση λειτουργίας είναι στα 8 bar και η μέγιστη πίεση λειτουργίας είναι στα 10 bar. Η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας από το θερμοδοχείο στον ατμοπαραγωγό είναι στους 103 °C. Η χωρητικότητα του λέβητα σε νερό είναι 13200 λίτρα.

Πίνακας Δεδομένων Ατμολέβητα με καύσιμο (μαζούτ)		
Ονομαστική λειτουργία παροχής κορεσμένου ατμού	\dot{m}_s	12000 kg/h
Πίεση λειτουργίας	$P_{\text{λειτουργ}}$	8 bar
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	$P_{\text{μεγ}}$	10 bar
Θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας	T_{fw}	103 °C
Βαθμός απόδοσης	η	88.8 %
Καύσιμο	HFO	
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου	H_u	11.28 kWh/kg
Αντίθλιψη του λέβητα	9.4 mbar	

Πίνακας 6.1 Δεδομένα του ατμολέβητα κατά την διάρκεια της λειτουργίας του.

Για την επιλογή του καυστήρα που θα χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που το καύσιμο είναι το μαζούτ θα πρέπει να υπολογιστούν η ωφέλιμη θερμότητα του ατμολέβητα, η θερμότητα που παράγεται από το καύσιμο και η καταναλισκόμενη παροχή καυσίμου.

Για τον υπολογισμό της ωφέλιμης θερμότητας του λέβητα χρησιμοποιείται η σχέση

$$Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron} = \dot{m}_s * (h'' - h_{fw}) * \frac{1}{3600\text{ s}} \quad (6.1)$$

Όπου h'' είναι η ενθαλπία του κορεσμένου ατμού στην πίεση λειτουργίας του λέβητα στα 8 bar και h_{fw} η ενθαλπία του νερού τροφοδοσίας στους 103 °C.

Από τους πίνακες κορεσμένου ατμού (Εικόνα 6.1) η $h'' = 2774 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$ και $h_{fw} = 431.78 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$ στους 103°C.

PRESSURE		TEMPERATURE		WATER Sensible Heat h_f		EVAPORATION Latent Heat h_{fg}		STEAM Total Heat h_g		SPECIFIC VOLUME STEAM	
bar g	psi	°C	°F	kJ/kg	btu/lb	kJ/kg	btu/lb	kJ/kg	btu/lb	m ³ /kg	ft ³ /lb
0.10	1.5	102.7	216.8	430.2	185.0	2250.2	967.4	2680.4	1152.4	1.533	24.56
0.20	2.9	105.1	221.2	440.8	189.5	2243.4	964.5	2684.2	1154.0	1.414	22.65
8.00	116.0	175.4	347.8	743.1	319.5	2030.9	873.1	2774.0	1192.6	0.215	3.44

Εικόνα 6.1 Πίνακες κορεσμένου ατμού

Άρα από την σχέση 6.1

$$Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron} = 12000 \left(\frac{kg}{h} \right) * (2774 - 431,78) \left(\frac{Kj}{kg} \right) * \frac{1}{3600 [s]}$$

$$= 12000 \left(\frac{kg}{h} \right) * 2342,22 \left(\frac{Kj}{kg} \right) * \frac{1}{3600 s} = 7807,4 [KW]$$

Στη συνέχεια αφού ο βαθμός απόδοσης του λέβητα είναι $n = 88,8\%$ για τον υπολογισμό της θερμότητας που παράγεται από το καύσιμο θα πρέπει να εφαρμοστεί ο τύπος:

$$Q_{καταναλισκόμενο} = \frac{Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}}{n} = \frac{7807,4}{0.888} = 8792,1 [KW]$$

Επομένως για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης παροχής καυσίμου για την παραγωγή του επιθυμητού $Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}$ υπάρχει η σχέση:

$$mb = \frac{Q_{καταναλισκόμενο}}{Hu} \quad (6.2)$$

Η θερμογόνοος ικανότητα του καυσίμου θα πρέπει να μετατραπεί στις σωστές μονάδες οπότε:

$$Hu = 11.28 \left(\frac{KWh}{kg} \right) = 11.28 * 3600 = 40608 \left(\frac{Kj}{kg} \right)$$

Από την σχέση (6.2) προκύπτει ότι

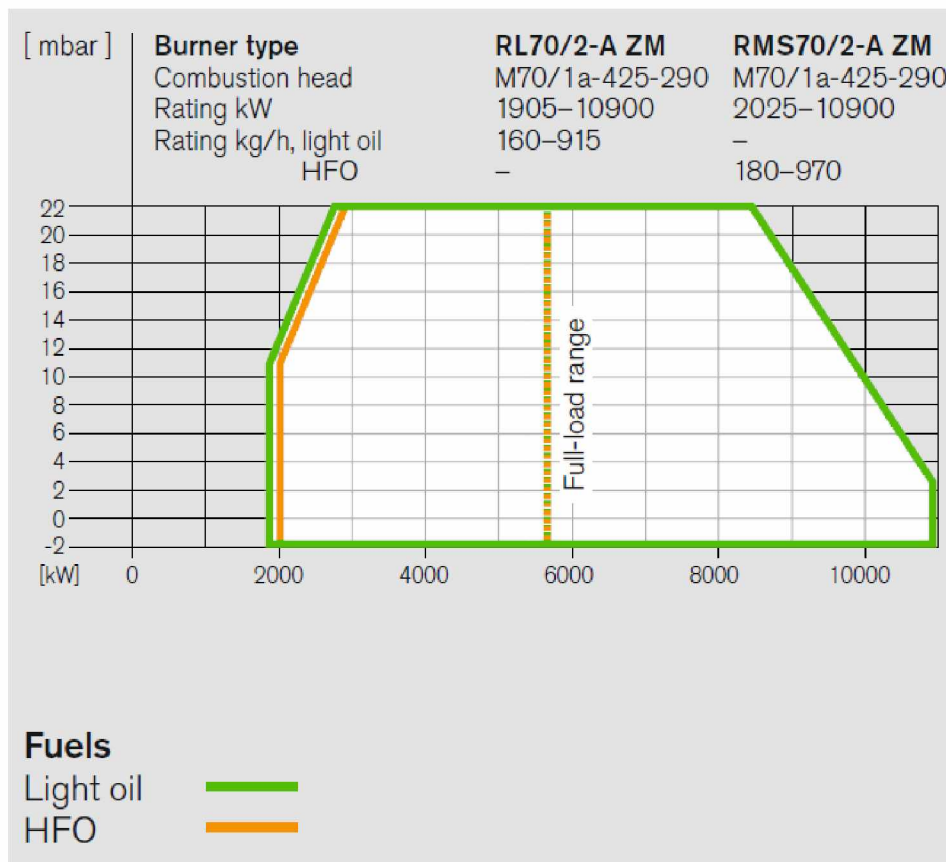
$$mb = \frac{Q_{καταναλισκόμενο}}{Hu} = \frac{8792,1}{40608} \left(\frac{KW}{\frac{Kj}{kg}} \right) = 0.241 \left(\frac{kg}{s} \right) * 3600 = 779.44 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

Για την επιλογή του κατάλληλου καυστήρα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω νούμερα.

Δεδομένα για την επιλογή του κατάλληλου καυστήρα (μαζούτ)		
Η ενέργεια που παράγεται από το καύσιμο	$Q_{\text{καταναλισκόμενο}}$	8792.1 KW
Καταναλισκόμενη παροχή καυσίμου	mb	779.44 kg/h
Αντίθλιψη του λέβητα		9.4mbar

Πίνακας 6.2 Δεδομένα για την επιλογή του κατάλληλου καυστήρα.

Σύμφωνα με τον (Πίνακα 6.2) υπάρχουν όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για να γίνει επιλογή του κατάλληλου βιομηχανικού καυστήρα. Ανατρέχοντας στον τεχνικό κατάλογο ενός κατασκευαστή παρατηρείται το χαρακτηριστικό διάγραμμα από το κάθε μοντέλο.

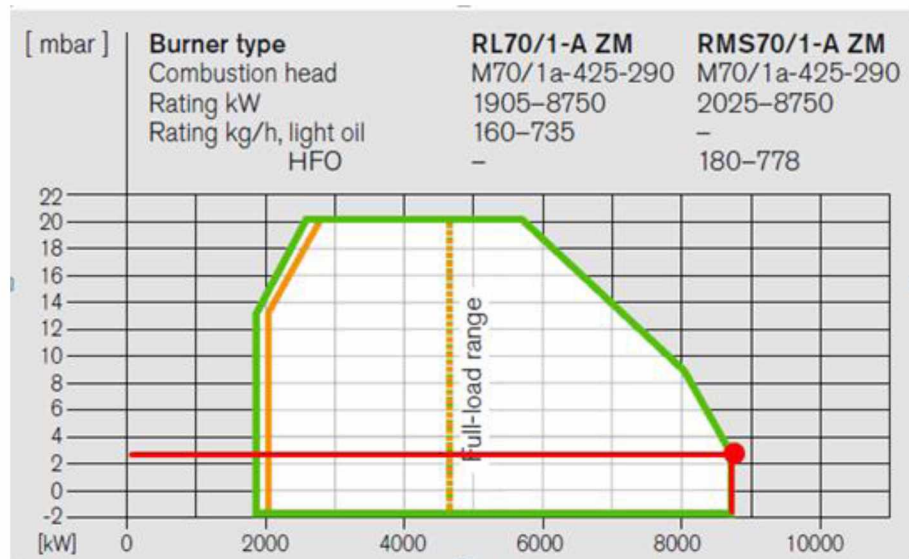


Εικόνα 6.2 Διάγραμμα καυστήρα της εταιρείας Weishaupt

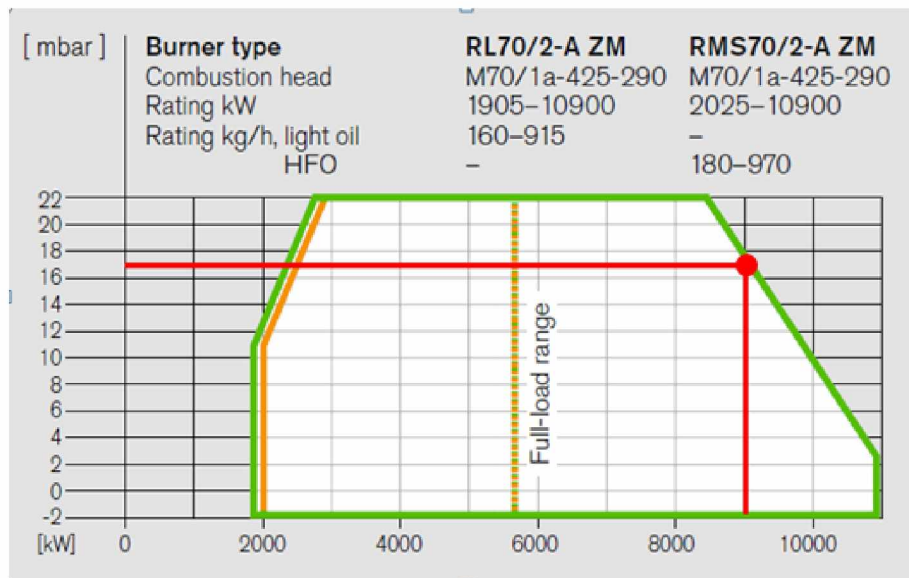
Από την Εικόνα 6.2 διακρίνεται το εύρος στο οποίο μπορούν να λειτουργήσουν τα δύο μοντέλα καυστήρων της εταιρείας Weishaupt. Το ένα μοντέλο λειτουργεί με ελαφρύ μαζούτ και το άλλο με βαρύ μαζούτ. Στον άξονα τον x αναγράφεται το εύρος σε KW που καλύπτει ο κάθε καυστήρας και στον άξονα τον y το ποσό της κατάθλιψης σε mbar. Δηλαδή ο κατασκευαστής για το πρώτο μοντέλο που αναγράφεται στο διάγραμμα, το RL70/2-A ZM

αναγράφει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από 1905 KW έως 10900 KW καταναλώνοντας καύσιμο από 160 έως 915 kg/h.

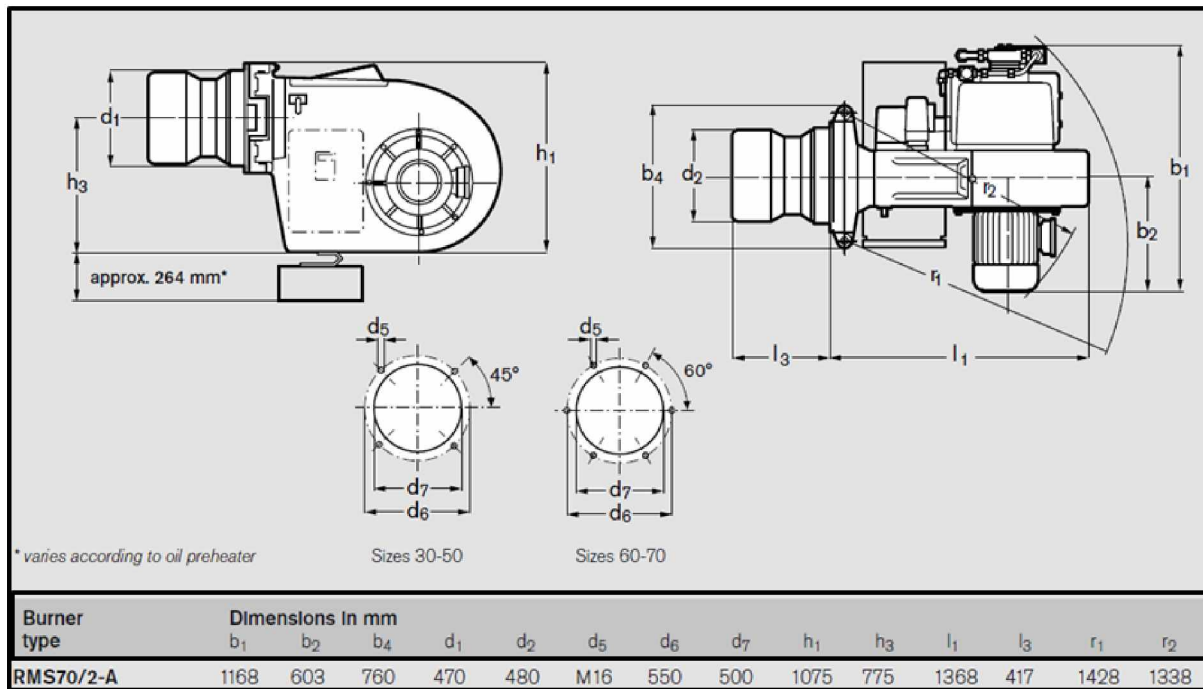
Στις παρακάτω εικόνες διακρίνονται δύο διαγράμματα με δύο μοντέλα καυστήρων τα οποία έχουν ως καύσιμο το μαζούτ



Εικόνα 6.3 Διάγραμμα καυστήρα της εταιρείας Weishaupt μοντέλο RMS70/1-A ZM



Εικόνα 6.4 Διάγραμμα καυστήρα της εταιρείας Weishaupt μοντέλο RMS70/2-A ZM



Εικόνα 6.5 Σχέδιο καυστήρα RMS70/2-A ZM

Το μοντέλο το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.3 μπορεί να καλύψει οριακά τις ανάγκες που χρειάζεται ο ατμολέβητας αλλά κρίνεται ακατάλληλος διότι δεν μπορεί να καλύψει στο κομμάτι της αντίθλιψης του λέβητα διότι στα 8750 KW μπορεί να αποδώσει μόνο 3 mbar έναντι των 9,5 mbar που πρέπει να υπερκαλύψει. Επομένως από τον Πίνακα 6.1 και την Εικόνα 6.4 ο καυστήρας ο οποίος είναι κατάλληλος για τον ατμολέβητα είναι ο RMS70/2-A ZM διότι λειτουργεί με το κατάλληλο καύσιμο και είναι μέσα στο εύρος που καλύπτει ο καυστήρας σε KW, καλύπτει την κατανάλωση του καυσίμου και υπερκαλύπτει το ποσό της αντίθλιψης του λέβητα στα 17 mbar.

6.2 Επιλογή καυστήρα φυσικού αερίου

Για την περίπτωση επιλογής καυστήρα φυσικού αερίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω αλλαγές στον (Πίνακας 6.1) διότι με την αλλαγή του καυσίμου θα έχουμε διαφορετική κατωτέρα θερμογόνο δύναμη και πυκνότητα.

Πίνακας Δεδομένων Ατμολέβητα με καύσιμο (φυσικό αέριο)		
Ονομαστική λειτουργία παροχής κορεσμένου ατμού	ms	12000 kg/h
Πίεση λειτουργίας	P _{λειτ}	8 bar
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	P _{μεγ}	10 bar
Θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας	T _{fw}	103 °C
Βαθμός απόδοσης	n	88.8
Καύσιμο	Natural gas	
Θερμογόνος ικανότητα καύσιμου	Hu	10.4 kWh/Nm ³
Πυκνότητα στους 0°C	ρ	0,79 kg /Nm ³
Αντίθλιψη του λέβητα	9.4 mbar	

Πίνακας 6.3 Δεδομένα του ατμολέβητα κατά την διάρκεια της λειτουργίας του.

Οι τιμές για τον υπολογισμό του $Q_{\text{ωφέλιμο}}$ και του $Q_{\text{καταναλισκόμενο}}$ θα παραμένουν ίδιες. Η παράμετρος που θα αλλάξει είναι η καταναλισκόμενη παροχή καυσίμου.

Επομένως θα γίνει μετατροπή των μονάδων της θερμογόνου δύναμης λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή κανονικής πυκνότητας του φυσικού αερίου ισούται με 0,79 kg /Nm³ υπό 1 atm και 0°C.

$$Hu = 10.4 \left(\frac{kWh}{Nm^3} \right) / 0.79 \left(\frac{kg}{Nm^3} \right) = 13.1645 \left(\frac{kWh}{kg} \right) * 3600 = 47392 \left(\frac{Kj}{kg} \right)$$

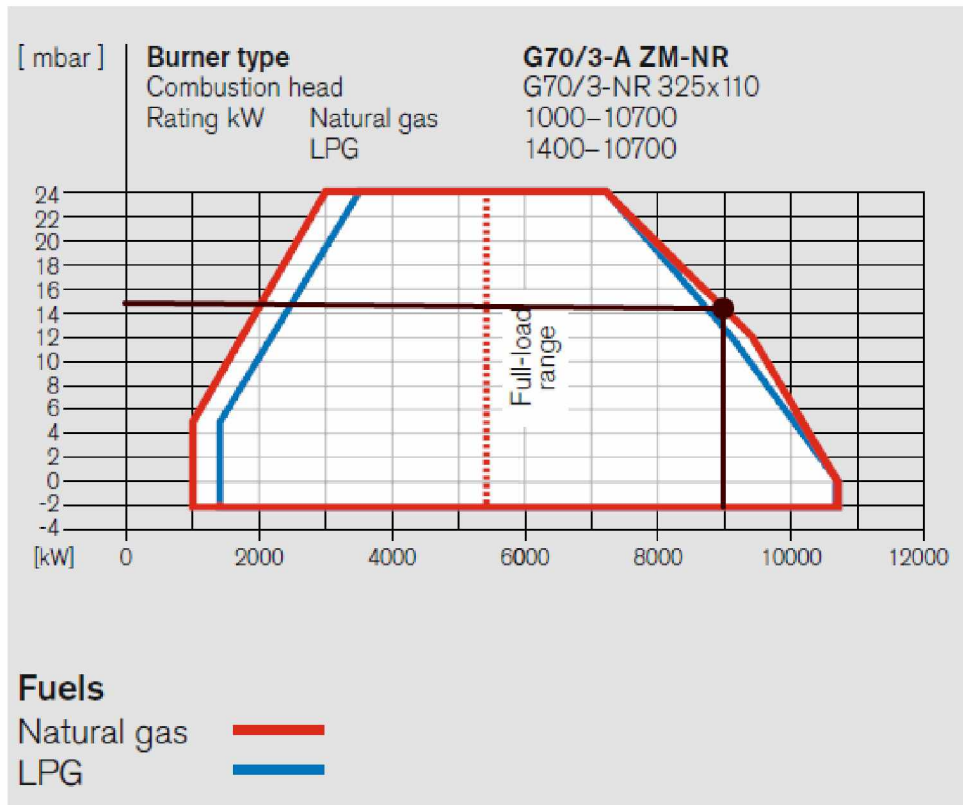
Άρα η καταναλισκόμενη παροχή καυσίμου για το φυσικό αέριο θα ισούται:

$$mb = \frac{Q_{\text{καταναλισκόμενο}}}{Hu} = \frac{8792,1}{47392} \left(\frac{KW}{\frac{Kj}{kg}} \right) = 0.1855 \left(\frac{kg}{s} \right) * 3600 = 667.86 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

Οπότε για την επιλογή του κατάλληλου καυστήρα με καύσιμο το φυσικό αέριο πρέπει να ληφθεί υπόψη ο παρακάτω πίνακας.

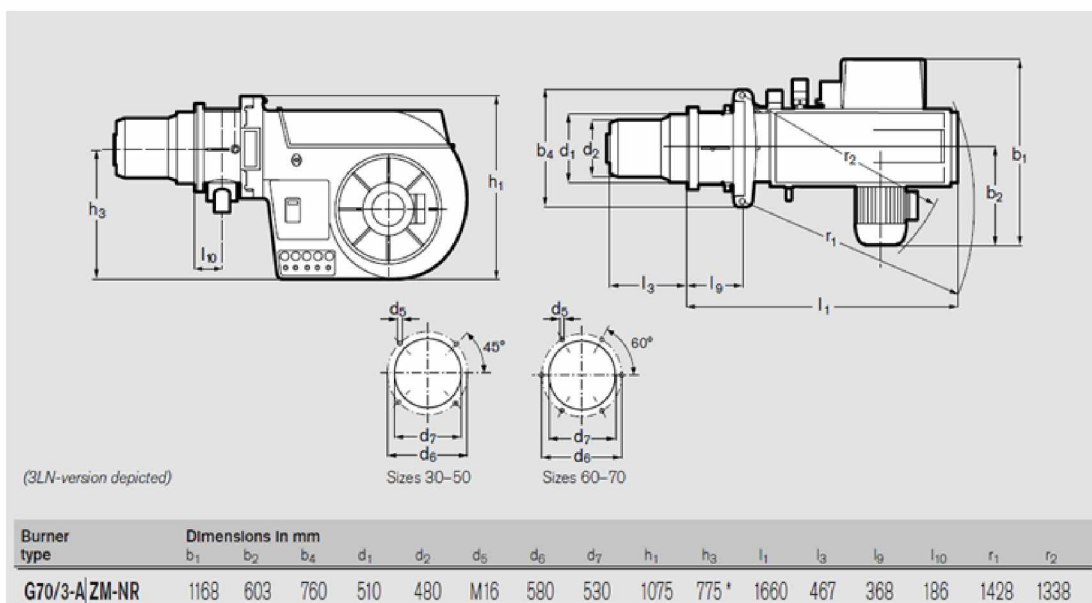
Δεδομένα για την επιλογή του κατάλληλου καυστήρα (φυσικό αέριο)		
Η ενέργεια που παράγεται από το καύσιμο	$Q_{\text{καταναλισκόμενο}}$	8792.1 KW
Καταναλισκόμενη παροχή καυσίμου	mb	667.86 kg/h
Αντίθλιψη του λέβητα	9.4mbar	

Πίνακας 6.5 Δεδομένα για την επιλογή του κατάλληλου καυστήρα φυσικού αερίου.



Εικόνα 6.6 Διάγραμμα καυστήρα φυσικού αερίου της εταιρείας Weishaupt μοντέλο G70/3-A ZM.

Από την (Εικόνα 6.6) διακρίνεται ότι το μοντέλο του καυστήρα G70/3-A ZM είναι κατάλληλο για την εφαρμογή γιατί πληροί όλες τις προϋποθέσεις σε πλήρες φορτίο υπερνικώντας την αντίθλιψη του λέβητα με κατάθλιψη 15 mbar.



Εικόνα 6.7 Σχέδιο καυστήρα RMS70/2-A ZM

6.3 Ανάλυση απωλειών ατμοπαραγωγού

Για τον υπολογισμό της θεωρητικής θερμοκρασίας των καυσαερίων κατά την έξοδο από τον λέβητα θα πρέπει υπολογιστούν κάποια μεγέθη τα οποία φαίνονται στην παρακάτω σχέση.

$$\eta = \frac{Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}}{Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu\alpha\lambda\iota\sigma\kappa\omicron\mu\epsilon\nu\omicron}} = \frac{Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu\alpha\lambda\iota\sigma\kappa\omicron\mu\epsilon\nu\omicron} - Q_{\alpha\pi\acute{\omega}\lambda\iota\omega\nu}}{Q_{\kappa\alpha\tau\alpha\nu\alpha\lambda\iota\sigma\kappa\omicron\mu\epsilon\nu\omicron}} = \frac{mb*Hu - Q_E - Q_L - Q_G}{mb*Hu} \quad [6.3.1]$$

Όπου

- Οι απώλειες θερμικής ισχύς που χάνονται στην εστία Q_E (Kw). Οι απώλειες αυτές οφείλονται στο ότι το καύσιμο δεν κάηκε πλήρως. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπήρξε η απαραίτητη ανάμιξη αέρα και καύσιμου ή γιατί το καύσιμο έμεινε άκαυστο κατά την είσοδο του στον ατμολέβητα. Ως μέση τιμή του βαθμού απόδοσης της εστίας η_E για αέρια καύσιμα ισούται $\eta_E = 1$ και για υγρά $\eta_E = (0,98 \sim 0,99)$.
- Οι απώλειες θερμικής ισχύς ως προς το περιβάλλον Q_L (Kw), αυτό συμβαίνει διότι το περίβλημα του ατμολέβητα διατηρεί υψηλότερη θερμοκρασία από αυτήν του περιβάλλοντος. Υπάρχει άμεση εξάρτηση των απωλειών αυτών με το είδος του καύσιμου, το μέγεθος του ατμολέβητα καθώς και το φορτίο στο οποίο λειτουργεί. Οπότε $Q_L = c * Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}^{0.7}$ όπου το Q_L και το $Q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}$ σε MW και το $c = 0.0113$ για υγρά και αέρια καύσιμα.
- Οι απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον από το παραγόμενο καυσαέριο Q_G (Kw) αποτελούν τις σημαντικότερες απώλειες του ατμοπαραγωγού. Κατά την έξοδο του καυσαερίου από τον ατμολέβητα, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του όπου διαχέεται στο περιβάλλον. Εκφράζεται:

$$Q_G = mb * \eta_E * \mu_G (h_{Ga} - h_{Go})$$

Όπου:

- mb (kg/s) Η καταναλισκόμενη παροχή καυσίμου.
- η_E Ο βαθμός απόδοσης της εστίας.
- μ_G (kg/kg) Η μάζα των καυσαερίων ανά kg καυσίμου.
- h_{Ga} (kJ/kg) Η ενθαλπία του καυσαερίου στην έξοδο του από τον ατμολέβητα.

- h_{Ga} (kJ/kg) Η ενθαλπία του καυσαερίου στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

6.4 Υπολογισμός θερμοκρασίας καυσαερίων κατά την έξοδο από τον ατμοπαραγωγό

Για τον υπολογισμό της θεωρητικής θερμοκρασίας των καυσαερίων κατά την έξοδο από τον λέβητα θα πρέπει να γίνει η ανάλυση της καύσης του φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο που θα χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς είναι το Αλγερινό και με σύσταση κ.ο. (Πίνακας 6.6).

Τυπική Σύσταση Αλγερινού Φυσικού Αερίου		
Περιεκτικότητα (% κ.ο.)		
Μεθάνιο	CH ₄	91.2
Αιθάνιο	C ₂ H ₆	6.5
Προπάνιο	C ₃ H ₈	1.1
Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀	0.2
Άζωτο	N ₂	1

Πίνακας 6.6 Τυπική Σύσταση κ.ο. Αλγερινού Φυσικού Αερίου. (<https://www.zenith.gr/genika-sxhmatismos-fa-metafora/systash-fysikoy-aeriou/>)

Θα πρέπει να γίνει μετατροπή της περιεκτικότητας σε κ.ο. σε κ.μ. όπως φαίνεται στον (Πίνακας 6.7)

Πίνακας υπολογισμών κ.μ. περιεκτικότητα				
Περιεκτικότητα (% κ.ο.)		Μοριακό Βάρος	Αναλογικό Βάρος	Περιεκτικότητα (% κ.μ.)
(a)		(b)	(c=a*b)	(c/Σc*100)
CH ₄	91.2	16.04	1462.848	83.7608942
C ₂ H ₆	6.5	30.07	195.455	11.19151516
C ₃ H ₈	1.1	44.1	48.51	2.777623497
C ₄ H ₁₀	0.2	58.12	11.624	0.665576078
N ₂	1	28.02	28.02	1.604391061
Άθροισμα Σc			1746.457	100

Πίνακας 6.7 Πίνακας υπολογισμών κ.μ. περιεκτικότητα Αλγερινού φυσικού αερίου

Οπότε από (Πίνακα 6.7) προκύπτει ο (Πίνακας 6.8)

Τυπική Σύσταση Αλγερινού Φυσικού Αερίου		
Περιεκτικότητα (% κ.μ.)		
Μεθάνιο	CH ₄	83.7608942
Αιθάνιο	C ₂ H ₆	11.19151516
Προπάνιο	C ₃ H ₈	2.777623497
Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀	0.665576078
Άζωτο	N ₂	1.604391061

Πίνακας 6.8 Τυπική Σύσταση κ.μ. Αλγερινού Φυσικού Αερίου.

Για τον υπολογισμό της στοιχειομετρικής καύσης του φυσικού αερίου θα χρησιμοποιηθεί ο (Πίνακας 6.9) όπου εκεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη στοιχειομετρικής καύσης στοιχειακών καυσίμων που παρατηρούνται στην καύση σε 1kg μάζας.

Στοιχεία Καύσης 1 Kg ΚΑΥΣΙΜΟΥ									
Όνομα	Σύμβ.	μ _{O2}	μ _{LOT}	μ _{CO2}	μ _{SO2}	μ _{N2O}	μ _{GoT}	μ _(H2O)	μ _{Go}
		kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg
Μεθάνιο	CH ₄	3.99	17.189	2.743		13.199	15.943	2.246	18.189
Αιθάνιο	C ₂ H ₆	3.725	16.049	2.927		12.324	15.251	1.798	17.049
Προπάνιο	C ₃ H ₈	3.629	15.634	2.994		12.005	15	1.634	16.634
Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀	3.579	15.42	3.029		11.841	14.87	1.55	16.42
Υδρατμός	H ₂ O	0	0	0	0	0	0	1	1
Άζωτο	N ₂	0	0	0	0	1	1	0	1
Οξυγόνο	O ₂	1	4.308	0	0	3.308	3.308	0	3.308

Πίνακας 6.9 Χαρακτηριστικά μεγέθη στοιχειομετρικής καύσης φυσικού αερίου. (Παπαγεωργίου, N, 1991, 89)

Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα αέρα χωρίς την υγρασία από τον τύπο

$$\mu_{Lot} = \sum_{(k)} \mu_{Lot_k} * \gamma_k$$

Όπου K η χημική ένωση που περιέχετε σε αναλογία μάζας γ_K

Άρα:

$$\mu_{Lot} = \sum_{(k)} \mu_{Lot_k} * \gamma_K = 17.189 * 83.7608942 + 16.049 * 11.19151516 + 15.634 * 2.777623497 + 15.42 * 0.665576078 = 16.73067186 \frac{kg}{kg}$$

Ως επόμενο βήμα πρέπει να υπολογιστεί η ποσότητα του φυσικού αέρα με την υγρασία του από τον τύπο.

$$\mu_{Lo} = \mu_{Lot} (1 + X_{(H_2O)_L})$$

Η υγρασία που υπάρχει στον αέρα $X_{(H_2O)_L} = 0.01 \frac{kg}{kg}$

Οπότε:

$$\mu_{Lo} = \mu_{Lot} (1 + X_{(H_2O)_L}) = 16.73067186 * (1 + 0,01) = 16.89797858 \frac{kg}{kg}$$

Κατά την παραγωγή του καυσαερίου θα πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές:

- Του παραγόμενου CO_2 στο καυσαέριο.

$$\mu_{CO_2} = \sum_{(k)} \mu_{CO_2k} * \gamma_K = 2.743 * 83.7608942 + 2.927 * 11.19151516 + 2.994 * 2.777623497 + 3.029 * 0.665576078 = 2.728459324 \frac{kg}{kg}$$

- Το παραγόμενο SO_2

$$\mu_{SO_2} = \sum_{(k)} \mu_{SO_2k} * \gamma_K = 0$$

- Το άζωτο στο καυσαέριο.

$$\mu_{N_2O} = \sum_{(k)} \mu_{N_2k} * \gamma_K = 13.199 * 83.7608942 + 12.324 * 11.19151516 + 12.005 * 2.777623497 + 11.841 * 0.665576078 = 12.86315123 \frac{kg}{kg}$$

- Λόγω του αέρα καύσης πρέπει να υπολογιστεί ο υδρατμός στο καυσαέριο

$$\mu_{(H_2O)Lo} = X_{(H_2O)_L} * \mu_{Lot} = 0.01 * 16.73067186 = 0.167306719 \frac{kg}{kg}$$

- Ο υδρατμός απο την καύση του H_2 του καυσίμου

$$\mu_{(H_2O)_B} = \sum_{(k)} \mu_{(H_2O)_Bk} * \gamma_k = 2.246 * 83.7608942 + 1.798 * 11.19151516 + 1.634 * 2.777623497 + 1.55 * 0.665576078 = 2.138195924 \text{ kg/kg}$$

Οπότε μπορεί να υπολογιστεί ο συνολικός υδρατμός στο καυσαέριο.

$$\mu_{(H_2O)_O} = \mu_{(H_2O)_{Lo}} + \mu_{(H_2O)_B} = 0.167306719 + 2.138195924 = 2.305502642 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

Στην πραγματικότητα για να πραγματοποιηθεί η καύση χρειάζεται περισσότερη ποσότητα οξυγόνου ή αέρα. Οπότε θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς ο λόγος αέρα καύσης $\lambda=1.2$. Άρα θα πρέπει να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη.

- Του απαραίτητου ξηρού αέρα

$$\mu_{Lt} = \lambda * \mu_{Lot} = 1,2 * 16.73067186 = 20.07680623 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

- Του απαραίτητου υγρού αέρα

$$\mu_L = \lambda * \mu_{Lo} = \mu_{Lt} * (1 + X_{(H_2O)_L}) = 20.07680623 * (1 + 0,01) = 20.2775743 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

- Του απαραίτητου οξυγόνου

$$\hat{X}_{O_{2L}} = 0,2321 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgαέρα}} \text{ η περιεκτικότητα του οξυγόνου στον αέρα.}$$

$$\mu_{O_2} = \hat{X}_{O_{2L}} * \mu_{Lt} = 0,2321 * 20.07680623 = 4.659826727 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

- Του αζώτου στο καυσαέριο

$$\mu_{N_2} = \mu_{N_{2O}} + (\lambda - 1)(1 - \hat{X}_{O_{2L}}) * \mu_{Lot} = 12.86315123 + (1.2 - 1)(1 - 0.02321) * 16.73067186 = 15.43264781 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

- Του οξυγόνου στο καυσαέριο

$$\mu_{O_{2G}} = (\lambda - 1)\hat{X}_{O_{2L}} * \mu_{Lot} = (1,2 - 1) * 0,02321 * 16.73067186 = 0.776637788 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

- Του υδρατμού στο καυσαέριο

$$\begin{aligned} \mu_{(H_2O)} &= \mu_{(H_2O)_O} + (\lambda - 1)\mu_{(H_2O)_{Lo}} = 2.305502642 + (1,2 - 1) * 0.167306719 \\ &= 2.338963986 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

- Ο υπολογισμός του υγρού καυσαερίου

$$\mu_G = \mu_L + 1 - \gamma_A$$

Όπου γ_A η κ.μ. περιεκτικότητα του καυσίμου σε τέφρα όπου ισούται με 0 λόγω του ότι είναι αέριο καύσιμο οπότε:

$$\mu_G = \mu_L + 1 = 20.2775743 + 1 = 21.2775743 \frac{kg}{kg}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ο (Πίνακας 6.10)

Η περιεκτικότητα κ.μ. του καυσαερίου			
Σύμβολο		kg/kg	κ.μ. %
CO ₂	μCO ₂	2.728459	12.8237
SO ²	μSO ₂	0	0
H ₂ O	μH ₂ O	2.338964	10.9931
N ₂	μN ₂	15.43265	72.5331
O ₂	μO ₂	0.776638	3.65018

Πίνακας 6.10 Η κατά μάζα περιεκτικότητα του παραγόμενου καυσαερίου.

Στην συνέχεια από την σχέση [6.3.1] προκύπτει ότι:

$$Q_L = c * Q_{\omega\phi\epsilon\lambda\iota\mu\omicron}^{0,7} = 0.0113 * 4.2145819343 = 0.0476247 * 1000 = 47.625 \text{ KW}$$

$$\eta = \frac{mb*Hu - Q_E - Q_L - Q_G}{mb*Hu} = \frac{mb*Hu - Q_E - Q_L - mb*\eta_E*\mu_G(h_{Ga} - h_{Go})}{mb*Hu} \quad [6.3.2]$$

Για να να υπολογιστούν όλα τα μεγέθη από την σχέση [6.3.2] θα πρέπει αρχικά να υπολογιστούν οι δυο άγνωστοι που παραμένουν, η ενθαλπία του καπναερίου κατά την έξοδο από τον ατμοπαραγωγό h_{Ga} καθώς και η ενθαλπία του καπναερίου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος h_{Go} . Ο συνδετικός κρίκος της h_{Go} και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που είναι 20°C γίνεται μέσω της ειδικής θερμοχωρητικότητας c_{pG} και δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$c_{pG} \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right) = \frac{h_{Go} \left(\frac{kJ}{kg} \right)}{T_G \left(^\circ C \right)} \quad [6.3.3]$$

Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση c_{pG} ονομάζεται το απαιτούμενο ποσό της θερμότητας που χρειάζεται ένα kg για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα °C. Η ειδική θερμοχωρητικότητα του καυσαερίου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να προσεγγισθεί μέσω της σχέσης [6.3.4].

$$C_p = b_0 + b_1 * \theta + b_2 * \theta^2 + b_3 * \theta^3 + b_4 * \theta^4 \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) \quad [6.3.4]$$

Η σχέση [6.3.4] ισχύει για τα θερμοκρασιακά όρια από $0 \leq \theta \leq 2000$ °C και πίεση από 1 έως 10 bar. Η λήψη των τιμών b_0 έως b_4 για τα αντίστοιχα αέρια γίνεται από τον (Πίνακα 6.11).

	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂
b ₀	0.828204	0.185042*10	0.103693*10	0.90243
b ₁	0.981404*10 ⁻³	0.288423*10 ⁻³	0.278472*10 ⁻⁴	0.361332*10 ⁻³
b ₂	-7.90052*10 ⁻⁷	0.714063*10 ⁻⁶	0.392958*10 ⁻⁶	-1.64362*10 ⁻⁷
b ₃	0.328413*10 ⁻⁹	-4.78786*10 ⁻¹⁰	-3.13739*10 ⁻¹⁰	0.216244*10 ⁻¹⁰
b ₄	-5.46602*10 ⁻¹⁴	0.943951*10 ⁻¹³	0.720044*10 ⁻¹³	0.354211*10 ⁻¹⁴

Πίνακας 6.11 Πίνακας συντελεστών αερίων (Παπαγεωργίου, Ν, 1991, 273)

Οπότε για τον υπολογισμό του c_{pgo} για την θερμοκρασία περιβάλλοντος των 20 °C θα ισχύει

- Για το CO₂ από την σχέση [6.3.4] θα προκύψει

$$C_{pCO_2} = 0.828204 + 0.981404 * 10^{-3} * 20 + (-7.90052 * 10^{-7}) * 20^2 + 0.328413 * 10^{-9} * 20^3 + (-5.46602 * 10^{-14}) * 20^4 = 0.848 \left(\frac{kJ}{kg * K} \right)$$

- Για το H₂O

$$C_{pH_2O} = 0.185042 * 10 + 0.288423 * 10^{-3} * 20 + (0.714063 * 10^{-6}) * 20^2 + (-4.78786 * 10^{-10}) * 20^3 + (0.943951 * 10^{-13}) * 20^4 = 1.856 \left(\frac{kJ}{kg * K} \right)$$

- Για το N₂

$$C_{pN_2} = 0.103693 * 10 + 0.278472 * 10^{-4} * 20 + (0.392958 * 10^{-6}) * 20^2 + (-3.13739 * 10^{-10}) * 20^3 + (0.720044 * 10^{-13}) * 20^4 = 1.038 \left(\frac{kJ}{kg * K} \right)$$

- Για το O₂

$$C_{pO_2} = 0.90243 + 0.361332 * 10^{-3} * 20 + (-1.64362 * 10^{-7}) * 20^2 + (0.216244 * 10^{-10}) * 20^3 + (0.354211 * 10^{-14}) * 20^4 = 0.91 \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right)$$

Λόγω του ότι το καυσαέριο είναι μείγμα αερίων η ειδική θερμοχωρητικότητα θα υπολογιστεί από την σχέση [6.3.5]

$$C_{p_g} = \sum_{(k)} X_k * C_{p_k} \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right) \quad [6.3.5]$$

- C_{p_g} είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αερίου.
- C_{p_k} είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του συστατικού k του μείγματος.
- X_k είναι η περιεκτικότητα του μείγματος στο k συστατικό (kg/kg)

Οπότε από την σχέση [6.3.5] και τον (Πίνακα 6.10):

$$C_{p_{GO_{20}}} = \sum_{(k)} X_k * C_{p_k} = 0.848 * 0.128236906 + 1.856 * 0.109930723 + 1.038 * 0.725330589 + 0.91 * 0.036501782 = 1.099 \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right)$$

Από την σχέση [6.3.3] μπορεί να υπολογιστεί η ενθαλπία των καυσαερίων για την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

$$h_{GO_{20}} = C_{p_{GO_{20}}} * T_{GO_{20}} = 1.099 * 20 = 21.98 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Από την σχέση [6.3.2] μπορεί να υπολογιστεί η ενθαλπία εξόδου των καυσαερίων.

$$h_{Ga} = 259.374 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Επομένως από την σχέση [6.3.3] προκύπτει ότι θεωρητικά η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων για θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_{GO_{20}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$T_{ga} = \frac{h_{Ga} - h_{GO_{20}}}{C_{p_{GO_{20}}}} + T_{GO_{20}} = 236 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει η δυνατότητα της ενεργειακής αξιοποίησης της πλεονάζουσας θερμότητας των καυσαερίων μέσω μεθόδων ανάκτησης θερμότητας που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^Ο ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΥ

Για να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης σε ένα σύστημα ατμού θα πρέπει, αρχικά, να δοθεί βαρύτητα στους τελικούς χρήστες, διότι εκεί παρατηρείται η μεγαλύτερη σπάταλη ενέργειας, λόγω της έλλειψης ελέγχου και της εσφαλμένης χρήσης της θερμότητας, και στην συνέχεια, στο δίκτυο διανομής ατμού και στα συμπυκνωμάτων. Τέλος, αφού αντιμετωπιστούν τα προβλήματα των παραπάνω κλάδων πρέπει να δοθεί έμφαση στο λεβητοστάσιο.

Για την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης του λέβητα θα πρέπει να μελετηθούν τα παρακάτω μέτρα.

7.1 Βελτίωση της αποδοτικότητας της καύσης

Για την βελτίωση της αποδοτικότητας της καύσης θα πρέπει να υπάρχει ο τέλειος συνδυασμός του μίγματος καύσιμου και οξυγόνου. Στην πραγματικότητα δεν μπορεί να ισχύσει μια τέτοια περίπτωση, διότι πρέπει να παρέχεται περισσότερη ποσότητα αέρα για να ολοκληρωθεί η καύση. Το ποσό που ξεπερνά τον θεωρητικό αριθμό της κάλυψης του απαιτούμενου αέρα για να πραγματοποιηθεί η καύση ονομάζεται περίσσεια αέρα. Η περίσσεια αέρα είναι πολύ σημαντική παράμετρος, για τον λόγο αυτό και πρέπει να κρατείται σε όσο πιο χαμηλά επίπεδα γίνεται, έτσι ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη καύση. Θα πρέπει να δοθεί μεγάλη βαρύτητα στο μέγεθος αυτό διότι σε περίπτωση που δεν τροφοδοτείται επαρκής αέρας στον καυστήρα οδηγούμαστε στην εμφάνιση άκαυστου καύσιμου, καπνού και στην δημιουργία μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα την ρύπανση του περιβάλλοντος, την ρύπανση και την μείωση των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας, την αστάθεια της διαδικασίας της καύσης και τέλος την μείωση της απόδοσης της καύσης.

Σημαντική παράμετρος για την απώλεια των καυσαερίων, για την οποία πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η θερμοκρασία των καυσαερίων και η περιεκτικότητά τους σε οξυγόνο. Εάν παρατηρηθεί μια σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας στα καυσαέρια, πολύ πιθανό είναι να γίνει αντιληπτή και η μείωση του βαθμού απόδοσης της καύσης, σηματοδοτώντας την εξέταση συγκεκριμένων πεδίων. Ειδικότερα, η εξέταση αφορά στην βαλβίδα καύσιμου ή του αεροφράχτη, τον έλεγχο στο μπεκ του καυστήρα για πιθανό μπλοκάρισμα ή την αντικατάσταση του, τον έλεγχο των συνδέσεων που είναι ελεγχόμενες και ο καθαρισμός των επιφανειών συναλλαγής θερμότητας. Η μεταβολή του επιπέδου της περίσσειας οξυγόνου

μπορεί να προκληθεί από προβλήματα της παροχής αέρα ή καυσίμου, άλλα ακόμα και από τις ιδιότητες του καυσίμου. Σε άλλη περίπτωση που η περίσσεια οξυγόνου παραμένει σταθερή, αλλά ο καπνός και το μονοξείδιο του άνθρακα αυξάνεται, τότε πολύ πιθανό είναι οι προδιαγραφές του καυσίμου να έχουν αλλάξει ή να έχει προκύψει πρόβλημα στον καυστήρα. Τέλος, θα πρέπει να γίνεται καταγραφή και συχνός δειγματοληπτικός έλεγχος της καύσης όταν ο λέβητας βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση μετρώντας την ποσότητα του οξυγόνου στο καυσαέριο, το μονοξείδιο του άνθρακα, τον καπνό και την θερμοκρασία, έτσι ώστε να γίνεται αξιολόγηση της απόδοσης (Suntivarakorn, R., & Treedet, W., 2016).

7.2 Ο προγραμματισμός του φορτίου

Για να μπορέσει ένας λέβητας να δώσει το μέγιστο της απόδοσης του πρέπει να λειτουργήσει στο μέγιστο φορτίο του. Στην περίπτωση που υπάρχει παραπάνω από ένας λέβητας στο λεβητοστάσιο για να καλυφθούν οι αιχμές ζήτησης του ατμού θα πρέπει να βρεθεί η βέλτιστη σειρά για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση των λεβήτων. Μια άλλη λύση για το πρόβλημα του περιοδικού ταυτοχρονισμού της κατανάλωσης είναι η τοποθέτηση ενός ταμιευτή ατμού. Η τοποθέτηση του ταμιευτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς δεν καθιστά αναγκαία την εγκατάσταση του δεύτερου λέβητα για την κάλυψη του φορτίου ζήτησης. Επιπλέον, η τοποθέτηση ταμιευτή μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη απόδοση, λόγω της διακοπής της αυξομείωσης του φορτίου, αλλά και προσδίδει το πλεονέκτημα ότι υπάρχει πάντα ατμός αποθηκευμένος έτοιμος να χρησιμοποιηθεί.

7.3 Βελτίωση της επεξεργασίας του νερού του λέβητα

Η ποιότητα του νερού, που τροφοδοτείται μέσα στον λέβητα, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Το νερό τροφοδοσίας πρέπει να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία δίνονται από τον κατασκευαστή, έτσι ώστε να έχουμε την μέγιστη απόδοση με ελάχιστες φθορές στον εξοπλισμό. Βασικά λειτουργικά προβλήματα που προκύπτουν από την με την χημική σύσταση του νερού είναι ο σχηματισμός των αλάτων στις σωληνώσεις, η διάβρωση και η θραύση χαλύβδινων υλικών, αλλά και προβλήματα στην μεταφορά του νερού.

Η ποιότητα του νερού πρέπει να διατηρείται στα επιτρεπτά όρια, τα οποία θέτει ο κατασκευαστής του λέβητα βάση προτύπων. Η μη τήρηση των ορίων θέτει τον λέβητα ως μη ενεργειακά αποδοτικό, αλλά επιπλέον θέτει σε κίνδυνο την ασφαλή λειτουργία του. Από την

άλλη πλευρά, η πάρα πολύ καλή ποιότητα νερού τροφοδοσίας αυξάνει το κόστος του παραγόμενου ατμού (Kisrotta, N. et. al., 2014).

7.4 Μέθοδοι ανάκτησης θερμότητας

Στους βιομηχανικούς λέβητες μία αποδοτική μέθοδος για να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης είναι η εκμετάλλευση της ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων. Κατά την έξοδο του καυσαερίου από την καπνοδόχο, πριν απορριφθεί όλη η θερμότητα του προς το περιβάλλον. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από του 150 έως 300 C° ανάλογα το είδος του καύσιμου. Η ανάκτηση επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους:

7.4.1 Ανάκτηση θερμότητας καυσαερίων με οικονομική

Ο πρώτος τρόπος με την τοποθέτηση ενός οικονομική, δηλαδή την τοποθέτηση ενός εναλλάκτη κατά την έξοδο των καυσαερίων από τον καπναγωγό, όπου από την μια μεριά πέρνα το ζεστό καυσαέριο και από την άλλη περνάει το νερό τροφοδοσίας του λέβητα. Αξιοποιώντας ένα μέρος της θερμότητας των καυσαερίων είναι δυνατόν να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου και επομένως να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης του λέβητα μέχρι και 5% αλλά αυτό εξαρτάται πάντα από τον τύπο του λέβητα και το καύσιμο. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην τελική θερμοκρασία των καυσαερίων. Δηλαδή κατά την έξοδο τους από τον εναλλάκτη, όπου θα πρέπει η θερμοκρασία τους να υπερβαίνει το σημείο δρόσου, δηλαδή το σημείο το οποίο το καυσαέριο συμπυκνώνεται. Στην περίπτωση που παρατηρηθεί αυτό το φαινόμενο δημιουργείται διάβρωση στο εσωτερικό της καπνοδόχου.

7.4.2 Ανάκτηση θερμότητας καυσαερίων με σύστημα προθέρμανσης αέρα καύσης

Ο τρίτος τρόπος είναι με την τοποθέτηση ενός συστήματος προθέρμανσης του αέρα καύσης, όπου γίνεται ξανά εκμετάλλευση του ζεστού καυσαερίου. Αυξάνοντας την θερμοκρασία του αέρα καύσης, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καύσιμου και η βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα κατά 1 %.

7.5 Τοποθέτηση επιβραδυντών καυσαερίων

Οι φλογοαυλωτοί ατμολέβητες παρέχουν συχνά ατμό για διάφορες λειτουργικές εφαρμογές και για θέρμανση εμπορικών ή άλλων μεγάλων κτιριακών εγκαταστάσεων. Σε όλες αυτές τις εφαρμογές, η βέλτιστη απόδοση του λέβητα και η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας είναι συνεχείς στόχοι. Μια διαδεδομένη λύση, λοιπόν, που επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, είναι η εισαγωγή «επιβραδυντών καυσαερίου» στους σωλήνες του λέβητα για

μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και για βελτίωση της απόδοσης του λέβητα (Tips & Steam, 2004).

Η τυπική μορφή που λαμβάνει ένας επιβραδυντής καυσαερίου είναι μιας στενής, λεπτής μεταλλικής λωρίδας λυγισμένης και στριμμένης σε σχηματισμό «ζιγκ ζαγκ» για να επιτρέπεται η περιοδική επαφή με το τοίχωμα του σωλήνα. Ένα άλλο είδος αποτελούν στριμμένες λωρίδες πλάτους, διαμέτρου του σωλήνα, και συρμάτινα πηνία παρόμοια με ελατήρια. Τα εξαρτήματα αυτά αυξάνουν τη μεταφορά θερμότητας σε όλη την έκταση της διαμέτρου του σωλήνα, αυξάνοντας έτσι την ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια. Λαμβάνοντας ως δεδομένο πως ο εξοπλισμός λειτουργεί και έχει ρυθμιστεί σωστά, θα προκύψει υψηλότερη απόδοση του λέβητα. Φυσικά, η απόδοση του λέβητα θα αντικατοπτρίζει την αυξημένη τριβή ροής στους επιβραδυντές καυσαερίου.

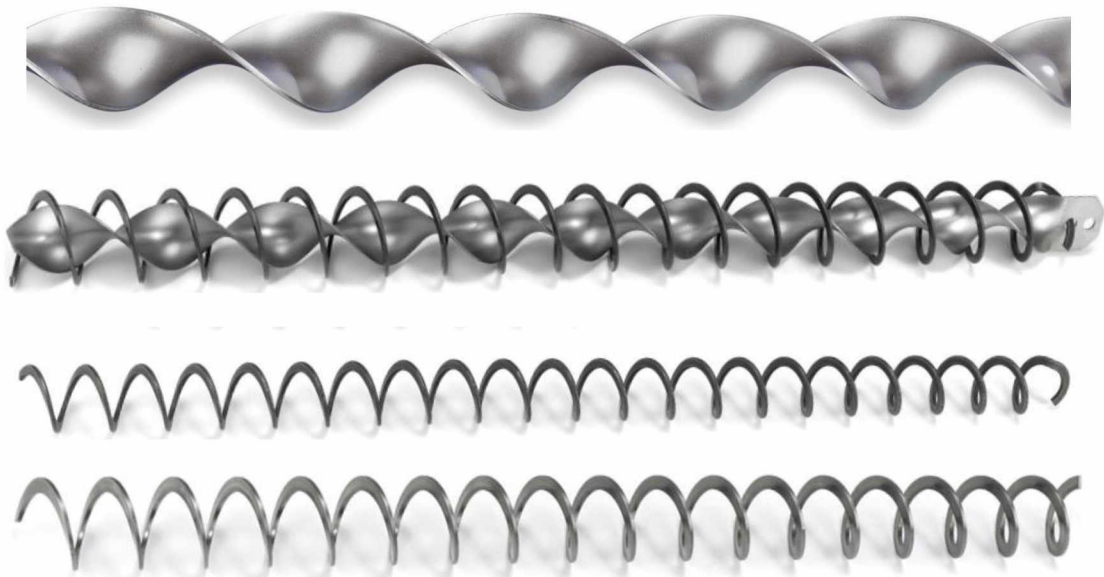


Εικόνα 7.3 Επιβραδυντές στους αλούς των καυσαερίων

Οι επιβραδυντές καυσαερίου, οι οποίοι αποτελούνται από μικρά διαφράγματα, γωνιακές μεταλλικές λωρίδες, σπειροειδείς λεπίδες ή κουλουριασμένο σύρμα, εισάγονται στους σωλήνες του λέβητα για να σπάσουν αυτό το λεπτό οριακό στρώμα ψυχρότερου αέρα που αναφέρθηκε. Αυτό αυξάνει τον στροβιλισμό των καυτών αερίων καύσης και τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή στην επιφάνεια του σωλήνα. Το αποτέλεσμα είναι η βελτιωμένη απόδοση του λέβητα. Οι επιβραδυντές καυσαερίου συνήθως εγκαθίστανται στο τελευταίο πέρασμα του λέβητα. Οι τεχνικοί εγκατάστασης επιβραδυντών καυσαερίου μπορούν, επίσης, να εξισορροπήσουν τη ροή του αερίου μέσω των σωλήνων, εγκαθιστώντας μακρύτερους σε μέγεθος επιβραδυντές στους ανώτατους σωλήνες. Αυτή η πρακτική αυξάνει την αποτελεσματικότητα της διαθέσιμης επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας εξαλείφοντας τη

θερμική στρωματοποίηση και εξισορροπώντας τη ροή αερίου μέσω των πυροσωλήνων. Κάθε μείωση κατά 40°F στη θερμοκρασία των καυσαερίων του λέβητα έχει ως αποτέλεσμα 1% βελτίωση της απόδοσης του λέβητα (Junkhan, et. al., 1985).

Οι επιβραδυντές καυσαερίου δεν συνιστώνται για λέβητες τεσσάρων περασμάτων ή μονάδες με καύση άνθρακα. Μια μονάδα τεσσάρων περασμάτων παρέχει τέσσερις ευκαιρίες για μεταφορά θερμότητας. Έχει μεγαλύτερη επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας, μικρότερη επιφάνεια ψυχρότερου αέρα, υψηλότερη απόδοση καυσίμου σε ατμό και χαμηλότερο ετήσιο κόστος καυσίμου από έναν λέβητα δύο ή τριών περασμάτων που λειτουργεί υπό ίδιες συνθήκες. Οι νέοι φλογοαυλωτοί λέβητες αποδίδουν καλύτερα από τους παλαιότερους σχεδιασμούς δύο και τριών περασμάτων. Μπορούν επίσης να εγκατασταθούν επιβραδυντές καυσαερίου για να αντισταθμίσουν τις απώλειες απόδοσης όταν ένας λέβητας τεσσάρων περασμάτων μετατρέπεται σε λέβητα δύο περασμάτων λόγω των χαλαρών σωλήνων και των διαρροών αυτών (Giri, et. al., 2019).



Εικόνα 7.4 Διάφοροι τύποι επιβραδυντών

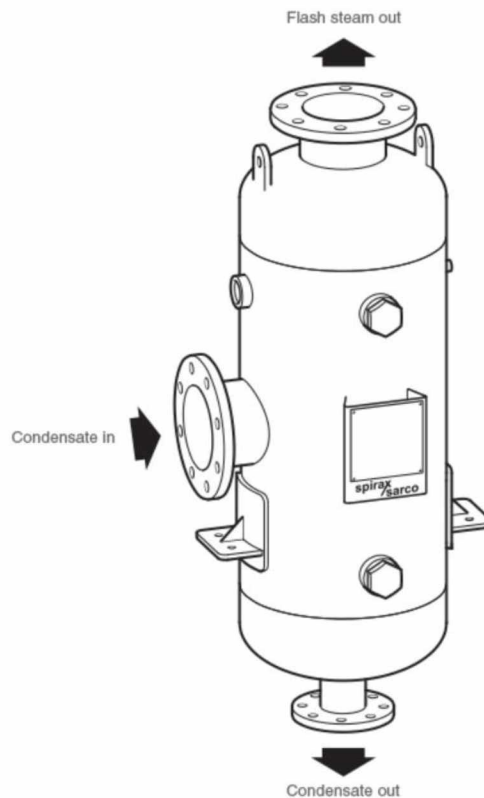
Οι επιβραδυντές αυτοί αποτελούν ένα υποκατάστατο ενός πιο δαπανηρού εξοικονομητή ή προθερμαντήρα αέρα. Είναι απλή και εύκολη η εγκατάσταση και το κόστος χαμηλό. Ειδικότερα, το κόστος εγκατάστασής τους είναι περίπου 10 έως 15\$ ανά σωλήνα λέβητα. Τα τρέχοντα σχέδια επιβραδυντών δεν προκαλούν σημαντική αύξηση στις πτώσεις πίεσης ούτε συμβάλλουν στο σχηματισμό αιθάλης σε λέβητες με καύση φυσικού αερίου.

Αυτοί συγκρατούνται στη θέση τους με ένα κλείδωμα ελατηρίου και αφαιρούνται εύκολα για να επιτρέπεται το βούρτσισμα του σωλήνα.

Τέλος, οι επιβραδυντές καυσαερίου διατίθενται σε διάφορα μήκη και πλάτη και πρέπει να εγκατασταθούν από εξειδικευμένο τεχνικό εγκατάστασης. Για την αποφυγή προβλημάτων καύσης, ο καυστήρας του λέβητα θα πρέπει να ρυθμιστεί εκ νέου μετά την εγκατάστασή τους. Ο τεχνικός εγκατάστασης πρέπει επίσης να επαληθεύσει ότι η θερμοκρασία εξόδου δεν πέφτει κάτω από το σημείο δρόσου των καυσαερίων (DOE, 2004).

7.5.1 Ανάκτηση θερμότητας από στρατσώνα

Αφού έγινε αναφορά για το πόσο σημαντική είναι η επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας στο κεφάλαιο. Αντίστοιχα για την σωστή λειτουργία του λέβητα πρέπει να διατηρούμε το ποσό των ολικών διαλυμένων στερεών στα επιθυμητά επίπεδα. Αυτό γίνεται μέσω της στρατσώνας, η οποία απορρίπτει το νερό σε θερμοκρασία ατμού που βρίσκεται μέσα στον λέβητα και το αντικαθιστά με ψυχρότερο νερό τροφοδοσίας με αποτέλεσμα να απομακρύνεται ένα μέρος των ολικών διαλυμένων στέρεων και να μένουν στα επίπεδα που ορίζει ο κατασκευαστής. Συνήθως χάνεται μεταξύ 1% και 5% της ενέργειας που εισέρχεται στον λέβητα χάνεται κατά την εκτόνωση. Πριν την απόρριψη στις αποχέτευσης το νερό εκτόνωσης που απορρίπτεται από την στρατσώνα πρέπει να εισέλθει σε ένα κάθετο δοχείο που είναι ένας διαχωριστής ατμού – νερού που ονομάζεται δοχείο αποτόνωσης. Στο δοχείο αποτόνωσης από την μια πλευρά εισέρχεται μείγμα συμπυκνώματος - ατμού και από την άλλη λόγω της μείωσης της ταχύτητας του μείγματος γίνεται η συλλογή του συμπυκνώματος μέσω μιας ατμοπαγίδας τύπου πλωτήρα. Κατά την δεύτερη έξοδο παρατηρείται η έξοδος του ατμού χαμηλής πίεσης που ονομάζεται ατμός αποτόνωσης (Εικ. 7.1). (Agathokleous, R. et al., 2019)



Εικόνα 7.1 Δοχείο αποτόνωσης

(<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/condensate-recovery/flash-steam>)

Ο ατμός αποτόνωσης ή δευτερογενής ατμός είναι πολύ σημαντικός για την εξοικονόμηση ενέργειας σε καταναλώσεις χαμηλής πίεσης. Κατά την απομάκρυνση του συμπυκνώματος μέσω μιας ατμοπαγίδας ή κάποιας απομαστευτικής συσκευής, το συμπύκνωμα έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Δηλαδή, ότι λόγω της πτώσης πίεσης του, εκλύεται θερμότητα ίση με την διάφορα ενέργειας του συμπυκνώματος πριν και μετά την εκτόνωση του. Ένα μέρος του συμπυκνώματος ατμοποιείται λόγω διαθέσιμης θερμότητας που προσδίδεται σε αυτό με αποτέλεσμα να δημιουργείται ο ατμός αποτόνωσης.

Με την δημιουργία του ατμού αποτόνωσης από την στρατσώνα παρατηρείται αύξηση γενικότερα της αποδοτικότητας αλλά ειδικότερα και αύξηση της αποδοτικότητας στην επεξεργασία του νερού. Πάνω από το 80% της θερμότητας που χάνεται από την εκτόνωση του νερού μέσω της στρατσώνας μπορεί να ανακτηθεί μέσω του δοχείου αποτόνωσης ή κάποιου συστήματος ανάκτησης θερμότητας ή και των δυο μαζί (Εικ 7.2). Αυτού του είδους τα μέτρα έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας, μειώνοντας την κατανάλωση καύσιμου στον λέβητα (Πέρδιος, Σ., 2007β, 197).

Πίνακας 7.1 Γενικές ευκαιρίες βελτίωσης της απόδοσης των βιομηχανικών συστημάτων ατμού. (Morvay, Z., & Gvozdenac, D., 2008, 219).

	Τεχνικές ή Μέθοδοι	Περιγραφή	Δυνατότητα για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε σχέση με την τρέχουσα κατανάλωση
1	Διαδικασία λειτουργίας και συντήρηση λεβήτων	Κατά την λειτουργία παραπάνω από έναν λέβητα το σύστημα ελέγχου αλληλουχίας. Καθώς και η συντήρηση θα πρέπει να γίνεται με βάση των οδηγιών του κατασκευαστή. Το σύστημα παρακολούθησης θα πρέπει να καλύπτει όλους τους δείκτες απόδοσης (παροχές ατμού καύσιμου και νερού τροφοδοσίας, το προφίλ του φορτίου του κάθε λέβητα, πίεση ατμού, και ποιότητα νερού)	$\leq 5 \%$
2	Επεξεργασία νερού και έλεγχος νερού του λέβητα	Μειώνοντας το ποσό των ολικών διαλυόμενων στερεών στο νερό του λέβητα έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες εκτονώσεις νερού από την στρατσώνα άρα λιγότερη απώλεια ενέργειας	$\leq 2 \%$
3	Ο έλεγχος των ολικών διαλυόμενων στερεών και της στρατσώνας του λέβητα	Ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου είναι επιθυμητό γιατί μακροπρόθεσμα μπορεί να προστατέψει τον λέβητα από ανεπιθύμητες διακυμάνσεις	$\leq 2 \%$
4	Ανάκτηση θερμότητας από την στρατσώνα	Μεταφέροντας την διαθέσιμη ενέργεια κατά την εκτόνωση από την στρατσώνα πίσω στο σύστημα μείωση των απωλειών ενέργειας	$\leq 4 \%$
5	Ατμός αποτόνωσης	Η επαναφορά του του διαθέσιμου ατμού χαμηλής πίεσης για την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας του λέβητα	$\leq 2 \%$

6	Σύστημα διαχείρισης του λέβητα και του καυστήρα καθώς και έλεγχο καύσης και ρύθμιση του οξυγόνου	Το μέτρο αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τους λέβητες που λειτουργούν με μεταβλητά φορτία και έχει άμεση σχέση με το επόμενο βήμα	$\leq 5 \%$
7	Κινητήρες μεταβλητών ταχυτήτων για τους ανεμιστήρες καύσης	Μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του λέβητα	—
8	Εξοικονομητής	Η ενεργειακή εκμετάλλευση των καυσαερίων ζεσταίνοντας το νερό τροφοδοσίας	$\leq 5 \%$
9	Αναθέρμανση αέρα καύσης	Η αξιοποίηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων για την προθέρμανση του αέρα καύσης. Πολλές φορές συνδυάζετε και με τον εξοικονομητή	$\leq 2 \%$
10	Βελτίωση στο σύστημα διανομής του ατμού	Πολύ καλή μόνωση στο σύστημα διανομής δηλαδή σωληνώσεις, βαλβίδες, εξαρτήματα σύνδεσης και δοχεία. Η σωστή λειτουργία των ατμοπαγίδων. Η απομόνωση του ατμού σε γραμμές που δεν χρησιμοποιούνται. Η επισκευή διαρροών και το σωστό πρόγραμμα συντήρησης	$\leq 10\%$
11	Αύξηση της επιστροφής του συμπυκνωμάτων	Η ανάκτηση της θερμικής ενέργειας των συμπυκνωμάτων και η μείωση του νερού αναπλήρωσης που προστίθεται στο σύστημα εξοικονομεί ενέργεια και χημική επεξεργασία διότι επεξεργάζεται το ήδη επεξεργασμένο νερό για να επανέλθει στα επιτρεπτά επίπεδα. Επίσης το συμπύκνωμα υψηλής πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παράγωγη ατμού χαμηλής πίεσης.	$\leq 10\%$
12	Πίεση του ατμού	Η ρύθμιση της πίεσης στην ελάχιστη που απαιτεί ο τελικός καταναλωτής	$\leq 2 \%$

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον βιομηχανικό λέβητα στον οποίο θα γίνει η παραπάνω ενεργειακή αναβάθμιση παρατηρήθηκαν αδυναμίες του συστήματος οι οποίες προκαλούν δαπάνη ενέργειας και κατά κύριο λόγο προβλήματα τα οποία διακόπτουν την παραγωγική διαδικασία. Παρακάτω θα αναφερθούν αυτά τα προβλήματα με προτεινόμενες λύσεις.

- Έλλειψη μόνωσης σε σωληνώσεις αλλά και στο θερμοδοχείο το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν μόνιμα απώλειες θερμότητας στο σύστημα. *Άρα προτείνεται η μόνωση αυτών.*
- Η άμεση επιδιόρθωση κάθε διαρροής ατμού στο σύστημα σωληνώσεων διότι αν δεν διορθωθεί θα υπάρχουν απώλειες ατμού επί όλο το 24 ώρο.
- Τα περισσότερα προβλήματα που προκύπτουν είναι λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Η έλλειψη ενός αυτόματου συστήματος επίβλεψης έτσι ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη ή σε δυσλειτουργία του συστήματος να γίνει άμεση επέμβαση. Αυτό περιλαμβάνει: α) την επιτήρηση της στάθμης του νερού μέσα στο θερμοδοχείο έτσι ώστε να μην ξεμείνει ποτέ ο λέβητας από νερό τροφοδοσίας διότι η πλήρωση του δοχείου και η εκκίνηση του λέβητα είναι χρονοβόρα χωρίς να παραληφθεί το πόσο ζημιογόνο είναι για το εσωτερικό του λέβητα. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την τοποθέτηση μιας αποθηκευτικής δεξαμενής έτοιμου επεξεργασμένου νερού. β) Η επιτήρηση του συστήματος ότι έχει την προβλεπόμενη πίεση αέρος από τον αεροσυμπιεστή. γ) Ο αυτόματος έλεγχος της καύσης. δ) Ο συστηματικός έλεγχος του νερού τροφοδοσίας ώστε να είναι κατάλληλα επεξεργασμένο για να αποφευχθούν προβλήματα στο δίκτυο μεταφοράς ατμού αλλά και μέσα στο λέβητα, διότι δημιουργούνται επικαθίσεις αλάτων στο εξωτερικό περίβλημα των αυλών καυσαερίου χτίζοντας μία μόνωση και εμποδίζοντας την μεταφορά θερμότητας. ε) Τέλος, η αυτόματη αποβολή του νερού του λέβητα από την στρατσώνα για να διατηρείται στα κατάλληλα όρια για την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία του.
- Επίσης, η εγκατάσταση δεν αξιοποιεί καθόλου τα συμπυκνώματα που συλλέγονται μέσω των ατμοπαγίδων από κάθε τελικό καταναλωτή. Μπορεί να γίνει χρήση εναλλακτών θερμότητας ή χρήση του ατμού αποτόνωσης ή και συνδιασμού των δύο, ώστε να αξιοποιηθεί ένα μέρος της θερμότητας αυτών.

- Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα (κεφάλαιο 6) η αλλαγή του καυσίμου του λέβητα σε φυσικό αέριο είναι σίγουρα μια ενεργειακή αναβάθμιση στο σύστημα η οποία θα ωφελήσει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον οφέλη που θα προκύψουν από αυτή την αλλαγή είναι η κατάργηση του συστήματος μεταφοράς καυσίμου (μαζούτ) το οποίο ανά καιρούς προκαλούσε πολλά προβλήματα και απαιτούσε συχνή συντήρηση του εξοπλισμού όπως και απουσία των διακοπών του λέβητα λόγω έλλειψης καυσίμου από την δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης.
- Λόγω της θεωρητικής θερμοκρασίας του καυσαερίου που υπολογίστηκε (κεφάλαιο 6.4) μπορεί να αξιοποιηθεί η πλεονάζουσα θερμότητα του για την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας του λέβητα με την τοποθέτηση ενός οικονομιτή ή/και να γίνεται προθέρμανση του αέρα καύσης έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα και την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Παρολ'αυτα αντί των παραπάνω προτάσεων μπορούμε να καταφύγουμε σε μία οικονομικότερη λύση που είναι η τοποθέτηση επιβραδυντών καυσαερίου στους αυλούς του τρίτου περάσματος του λέβητα ώστε να μην παράγεται εξ αρχής πλεονάζουσα θερμότητα.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνικές

Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2021). Εξοικονόμηση ενέργειας, [<https://www.sem-lab.gr/el/%CE%B5%CE%BE%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82>] ανακτήθηκε στις 20/10/2021.

Institute of Energy for SE Europe IENE (2020). Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας Ετήσια Έκθεση 2020, [https://www.iene.gr/articlefiles/iene_meleti_2020_final1.pdf] ανακτήθηκε στις 29/10/2021.

Λάλια - Καντούρη, Μ. (2001). *Εισαγωγή στη θερμική ανάλυση*.

Πέρδιος, Σ. (2007α). *Επεμβάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια – αθλητικά κέντρα – βιομηχανίες – μεταφορές*, Τόμος Α, Τεκδοτική, Αθήνα.

Πέρδιος, Σ. (2007β) *Επεμβάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια – αθλητικά κέντρα – βιομηχανίες – μεταφορές*, Τόμος Β, Τεκδοτική, Αθήνα.

Χαραλάμπης, Ν. Κ. (2019). *Σύστημα αυτόματου ελέγχου θέρμανσης και μελέτη αυτοματισμού ενός ατμολέβητα*.

Παπαγεωργίου, Ν. (1991). *Ατμοπαραγωγοί Ι Γενικές αρχές*. Εκδόσεις Σημεών, Αθήνα.

Κουμιτζής, Ι. (2015). *Τεχνολογία ατμολεβήτων-Γενικές αρχές*.

Λέφας, Κ. (1982). *Εστίες και Ατμοπαραγωγοί, Τόμος Ι*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Αθήνα.

Ξενόγλωσσες

Agathokleous, R., Bianchi, G., Panayiotou, G., Aresti, L., Argyrou, M. C., Georgiou, G. S. & Christodoulides, P. (2019). Waste heat recovery in the EU industry and proposed new technologies. *Energy Procedia*, 161, pp. 489-496.

Greening, L. A., Boyd, G., & Roop, J. M. (2007). *Modeling of industrial energy consumption: An introduction and context*.

Hesselgreaves, J. E. (2001). *Compact heat exchangers, selection, design and operation*. New York: Pergamon Press.

Jouhara, H., Khordehgah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, pp. 268-289.

Kaya, D., Phelan, P., Chau, D., & Ibrahim Sarac, H. (2002). Energy conservation in compressed-air systems. *International journal of energy research*, 26(9), pp. 837-849.

Kispotta, N., Choudhary, G., Sidar, D., Sen, P. K., & Bohidar, S. K. (2014). Common boiler feed water treatment in the industry. *International Journal of Innovative Research in Science and Technology*, 1, pp. 59-62.

Morvay, Z., & Gvozdenac, D. (2008). *Applied industrial energy and environmental management* (Vol. 2). John Wiley & Sons, pp. 309- 315.

Mousavi, S., Kara, S., & Kornfeld, B. (2014). Energy efficiency of compressed air systems. *Procedia Cirp*, 15, pp. 313-318.

Parvez, M. (2017). *Steam Boiler*, Research Gate, [https://www.researchgate.net/publication/320057473_Steam_Boiler] retrieved at 25/10/2021.

Pástor, M., Lengvarský, P., Trebuňa, F., & Čárák, P. (2020). Prediction of failures in steam boiler using quantification of residual stresses. *Engineering Failure Analysis*.

Petrecca, G. (1993). *Industrial energy management: principles and applications: principles and applications* (Vol. 207). Springer Science & Business Media.

Risko, J. R. (2011). Understanding steam traps. *Chemical Engineering Progress*, 107(2), pp. 21-26.

Suntivarakorn, R., & Treedet, W. (2016). Improvement of boiler's efficiency using heat recovery and automatic combustion control system. *Energy Procedia*, 100, pp. 193-197.

Villasmil, W., Fischer, L. J., & Worlitschek, J. (2019). A review and evaluation of thermal insulation materials and methods for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, pp. 71-84.

VMAC (2021). *3 types of air compressors for your industrial engine application*, [<https://www.vmacair.com/blog/types-compressors-industrial-engine/>] retrieved at 10/11/2021.

Zohuri, B. (2017). Heat exchanger types and classifications. *Compact Heat Exchangers*, Springer, Cham, pp. 19-56.

CAPP (2021). World Energy Needs, [<https://www.capp.ca/energy/world-energy-needs/>] retrieved at 10/01/2022.

Kakaç, S. (Ed.). (1991). Boilers, evaporators, and condensers. John Wiley & Sons.

Kojima, M. (2011). The role of liquefied petroleum gas in reducing energy poverty.

DOE (2004). *“Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry”*.

Giri, V. R., Jha, A. K., & Bajracharya, T. R. (2019). Numerical and Experimental Analysis of Efficiency Enhancement in Fire Tube Boiler using Turbulators. In *Proceedings of IOE Graduate Conference*.

Junkhan, G. H., Bergles, A. E., Nirmalan, V., & Ravigururajan, T. (1985). *Investigation of turbulators for fire tube boilers*.

Tips, E., & Steam, S. T. E. A. M. (2004). *Consider Installing Turbulators on Two-and Three-Pass Firetube Boilers*

Rayaprolu, K. (2009). Boilers for power and process. CRC press.

Smil, V. (2017). Oil: a beginner's guide. Simon and Schuster.

XTO Energy (2019). Benefits of natural gas and oil, [<https://www.xtoenergy.com/Energy-and-environment/Unconventional-resource-development/Benefits-of-natural-gas-and-oil>] retrieved at 26/12/2021.