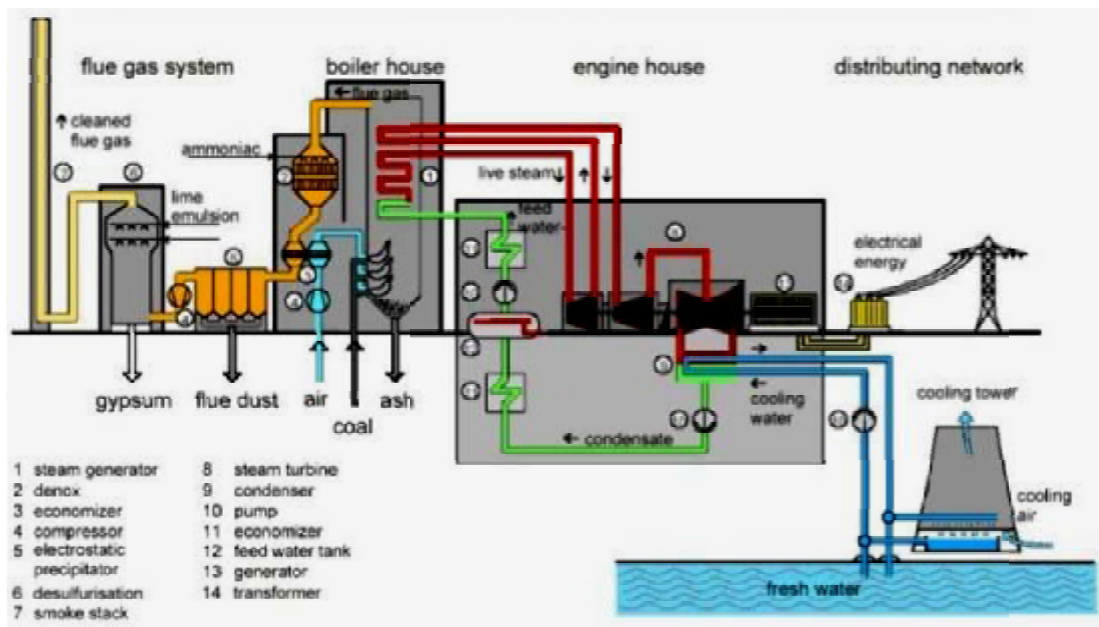


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕ ΧΗΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΙΣΧΥΟΣ 8 MW ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 50 GJ/h ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΟΓΩΝΑΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην διαδικασία μελέτης της εγκατάστασης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού σε μία χημική βιομηχανία η οποία θα εκμεταλλεύεται την παραγόμενη θερμική ενέργεια για τη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Είναι μια διαδικασία μελέτης η οποία βοηθάει τον φοιτητή να μπορέσει αργότερα μετά τη λήψη του πτυχίου να ανταπεξέλθει σε τέτοιες καταστάσεις που έχουν να κάνουν με εγκαταστάσεις ατμοηλεκτρικών σταθμών σε διάφορα είδη βιομηχανιών.

Αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά σχετικά με τα χαρακτηριστικά και την λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών και τα μέρη από τα οποία αποτελούνται. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η μελέτη για τη λειτουργία ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού σε μια χημική βιομηχανία αναπτύσσοντας διάφορες μεθόδους υπολογισμού και τέλος δίνονται τα αποτελέσματα των ζητημάτων που απαιτούνται για την μελέτη αυτή ώστε να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η εγκατάσταση του ατμοηλεκτρικού σταθμού.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Γογωνάς Μιχαήλ,
Ιούλιος 2017

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

Ο σπουδαστής
Γογωνάς Μιχαήλ

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στη μελέτη Εγκατάστασης ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού σε μία Χημική Βιομηχανία, η οποία θα εκμεταλλεύεται την θερμική ενέργεια που παράγεται εντός του ατμολέβητα, και θα τη χρησιμοποιεί για εφαρμογές που θα βοηθήσουν στην λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός σε μια τέτοια βιομηχανία είναι αρκετά σημαντικός, καθώς η ισχύς ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου για αυτή την περίπτωση είναι συνήθως μεγάλη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να φέρει μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας στο κατάλληλο χρόνο που απαιτείται για να λειτουργήσει σωστά η βιομηχανία.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τέσσερα Κεφάλαια. Στο Πρώτο Κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες σημαντικές πληροφορίες για την μελέτη των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν διάφορους ορισμούς που χρειάζονται ώστε να κατανοήσουμε τη σημασία του ατμοηλεκτρικού σταθμού στο βιομηχανικό τομέα. Αναφέρονται λοιπόν τα μέρη που αποτελείται ο ατμοηλεκτρικός σταθμός και ο τρόπος λειτουργίας του. Επίσης γίνεται αναφορά για τα χαρακτηριστικά του ατμού – νερού και του δικτύου στο οποίο διέρχονται. Στη συνέχεια μιλάμε για τις επιπτώσεις του νερού και τις μεθόδους πρόληψης των, γίνεται επεξήγηση στις φυγοκεντρικές αντλίες του ατμοηλεκτρικού σταθμού και περιγράφουμε το ρόλο της ατμογεννήτριας και του συμπυκνωτή. Τέλος μιλάμε και για διαγράμματα που θα χρησιμοποιηθούν στην μελέτη που θα ακολουθήσει, ώστε να αναπτύξουμε πλήρως τις απαραίτητες μεθόδους για την επίλυση και τον υπολογισμό των ζητημάτων που απαιτούνται στην εργασία αυτή.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη αναφορά για την ιστορική αναδρομή των ατμολεβήτων και το πως ταξινομούνται. Στη συνέχεια μιλάμε για τις σύγχρονες ανάγκες του ατμολέβητα και το πως γίνεται η διαδικασία αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας από αυτόν. Τέλος γίνεται και μία σύντομη αναφορά για την απαγωγή των καπναερίων.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο γίνεται μία μικρή αναφορά για τους ατμοστροβίλους και τα τμήματα από τα οποία αποτελούνται.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτικά, κατά βήματα, η μελέτη της εγκατάστασης του ατμοηλεκτρικού σταθμού με συγκεκριμένα δεδομένα τα οποία δίνονται στην αρχή, στο Κεφάλαιο 4. Στα πρώτα βήματα

επιλέχτηκε η κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού, μία διαδικασία η οποία χρειάστηκε υπομονή, διότι μιλάμε για δύο βασικές μεταβλητές που κρίνουν το τελικό αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα χρειάστηκε να υποθέσουμε μία τιμή για την κάθε μεταβλητή. Η τιμή κυμάνθηκε μέσα σε ένα εύρος τιμών που θα ήταν αποδεκτό για τα δεδομένα της εργασίας αυτής, αλλά ήταν τυχαία. Η υποθετική τιμή που πήραμε στην αρχή για την θερμοκρασία ήταν $T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ και για την πίεση $P = 40 \text{ bar}$. Έπειτα και μετά από επαληθεύσεις οι σωστές τιμές για την θερμοκρασία και την πίεση βρέθηκαν και έτσι μπορέσαμε και επιλύσαμε την όλη εργασία. Επίσης μέσα σε αυτά τα πρώτα βήματα, υπολογίστηκε η κατανάλωση καυσίμου και η συνολική ατμοπαραγωγή. Με τον υπολογισμό λοιπόν της ατμοπαραγωγής, διαπιστώσαμε ότι η τιμή της παροχής της θερμικής ενέργειας του ατμού κατά την έξοδο του ατμοστροβίλου, είναι παραπάνω από το όριο που ζητείται πριν μεταφερθεί στην παραγωγική διαδικασία. Έτσι λοιπόν το επιπλέον ποσό του ατμού αυτού θα οδηγείται σε συμπυκνωτή και το υπόλοιπο ποσό του ατμού θα οδηγείται στη παραγωγική διαδικασία. Στα επόμενα βήματα υπολογίσαμε το βαθμό απόδοσης και τα μεγέθη των εσωτερικών στοιχείων του λέβητα. Στα τελευταία βήματα υπολογίστηκε η διάμετρος της καπνοδόχου, η ισχύς του ανεμιστήρα των καπναερίων και έγινε και ο υπολογισμός του τυμπάνου και το πάχος ελάσματος αυτού.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προέκυψαν για αυτή την εργασία είναι (α) ότι παρόλο που το βαρύ πετρέλαιο θεωρείται ως ένας ορυκτός πόρος με υψηλό κόστος, είναι πολύ αποδοτικός δίνοντας μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας ώστε να λειτουργήσει σωστά και ικανοποιητικά η παραγωγική διαδικασία, (β) ότι αυτή η διαδικασία μελέτης θα βοηθήσει τον φοιτητή να μπορέσει αργότερα μετά το πέρας των σπουδών να ανταπεξέλθει σε τέτοιες καταστάσεις που έχουν να κάνουν με εγκαταστάσεις ατμοηλεκτρικών σταθμών σε διάφορα είδη βιομηχανιών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Ατμοηλεκτρικός Σταθμός και Χημική Βιομηχανία	1
---	---

1. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

1.1 Γενικά	4
1.2 Τα κύρια μέρη του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού	4
1.2.1 Ατμολέβητας υψηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού	5
1.2.2 Ατμοστρόβιλος	9
1.2.3 Ηλεκτρογεννήτρια	9
1.2.4 Μειωτής πίεσης και ψύκτης ατμού	9
1.2.5 Συμπυκνωτής	9
1.2.6 Φυγοκεντρική αντλία	9
1.3 Τρόπος λειτουργίας του ατμοηλεκτρικού σταθμού	10
1.4 Δίκτυο σωληνώσεων του παραγόμενου ατμού	10
1.5 Οι αντλίες του ατμοηλεκτρικού σταθμού	12
1.6 Διαφορές ατμού και νερού ως μέσα μεταφοράς θερμότητας	12
1.7 Οι επιπτώσεις του νερού και οι μέθοδοι πρόληψης των	13
1.8 Ατμογεννήτριες	14
1.9 Ο ρόλος του συμπυκνωτή	14
1.10 Οι θερμοδυναμικές μεταβλητές (T , P , h , \hat{v} , s) και ο κύκλος Rankine ...	14

2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

2.1 Ιστορική αναδρομή των ατμοπαραγωγών	19
2.2 Ταξινόμηση των σύγχρονων ατμολεβήτων	23
2.3 Οι σημερινές ανάγκες ενός ατμολέβητα	29
2.4 Διαδικασία αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας στον ατμολέβητα	30
2.5 Απαγωγή καπναερίων	31

3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

3.1 Ατμοστρόβιλοι	32
-------------------------	----

4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1	Χημική σύσταση πετρελαίου	36
4.2	Θερμοδυναμικός κύκλος Rankine	36
4.3	Θερμογόνος ισχύς πετρελαίου	47
4.4	Ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης	47
4.5	Ποσότητα ξηρών καπναερίων	47
4.6	Ποσότητα υγρών καπναερίων	48
4.7	Μέγιστη περιεκτικότητα των καπναερίων σε CO ₂	48
4.8	Περίσσεια αέρα καύσης	49
4.9	Ποσότητα πραγματικών ξηρών καπναερίων (με περίσσεια αέρα)	49
4.10	Ποσότητα πραγματικών υγρών καπναερίων (με περίσσεια αέρα)	49
4.11	Η ατμοπαραγωγή D ₁ για την λειτουργία του ατμοστροβίλου	50
4.12	Η ποσότητα του ατμού D ₂ στην παραγωγική διαδικασία	51
4.13	Θερμότητα για παραγωγή 1 Kg ατμού	53
4.14	Θερμότητα για προθέρμανση καυσίμου	53
4.15	Προσδιδόμενη θερμότητα στην εστία του ατμολέβητα	54
4.16	Ωριαία κατανάλωση καυσίμου	54
4.17	Απελευθερούμενη θερμότητα στον φλογοθάλαμο	55
4.18	Διαστάσεις φλογοθαλάμου	55
4.19	Θεωρητική θερμοκρασία φλογοθαλάμου	57
4.20	Ακτινοβολούμενη επιφάνεια φλογοθαλάμου	57
4.21	Πραγματική θερμοκρασία φλογοθαλάμου	59
4.22	Θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο	62
4.23	Τα μέρη της απελευθερούμενης θερμότητας που αποδίδεται στον φλογοθάλαμο	63
4.24	Συνολική θερμότητα προσδιδόμενη για ατμοποίηση	64
4.25	Θερμότητα που αποδίδεται στο αρχικό τμήμα ατμοποίησης του λέβητα ..	65
4.26	Θερμαινόμενη επιφάνεια αρχικού τμήματος ατμοποίησης	66
4.27	Θερμότητα που αποδίδεται στον υπερθερμαντήρα ατμού	67
4.28	Θερμοκρασία καπναερίων μετά τον υπερθερμαντήρα	68
4.29	Θερμαινόμενη επιφάνεια υπερθερμαντήρα	68
4.30	Θερμότητα που αποδίδεται στο τελικό τμήμα ατμοποίησης του λέβητα ...	70
4.31	Θερμοκρασία καπναερίων μετά το τελικό τμήμα ατμοποίησης	70
4.32	Θερμαινόμενη επιφάνεια τελικού τμήματος ατμοποίησης	71
4.33	Θερμότητα που προσδίδεται στο νερό με τον προθερμαντήρα νερού	72
4.34	Θερμοκρασία καπναερίων στην έξοδο του προθερμαντήρα νερού	73
4.35	Θερμαινόμενη επιφάνεια προθερμαντήρα νερού	73
4.36	Θερμοκρασία καπναερίων στην καπνοδόχο	75
4.37	Ειδική ατμοποίηση	75
4.38	Επαλήθευση του βαθμού αποδόσεως	76
4.39	Μέση θερμοκρασία της στήλης των καπναερίων	78
4.40	Πραγματικός όγκος καπναερίων	79
4.41	Διάμετρος κορυφής και βάσης καπνοδόχου	79
4.42	Παροχή και μανομετρικό ανεμιστήρα καπναερίων	80
4.43	Ισχύς κινητήρα ανεμιστήρα καπναερίων	82

4.44	Υπολογισμός τυμπάνου	83
4.45	Υπολογισμός πάχους ελάσματος τυμπάνου	87
4.46	Υπολογισμός πάχους ελάσματος πυθμένων τυμπάνου	89
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		92

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Σύμφωνα με τον **κ. Βασαλά, 2010**, Ατμοηλεκτρικό εργοστάσιο ή Ατμοηλεκτρικός σταθμός ονομάζεται η βιομηχανική εγκατάσταση - μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της δύναμης του ατμού. Ο ατμός μπορεί να προέλθει είτε με καύση στερεών, υγρών ή αέριων καυσίμων είτε με πυρηνική ενέργεια. Στη τελευταία περίπτωση ο σταθμός ονομάζεται ατμοηλεκτρικός πυρηνικός σταθμός. Η ενέργεια που παράγεται μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα που διοχετεύεται στις πόλεις αναλόγως. Η ισχύς ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου μπορεί να είναι τεράστια και γι' αυτό το λόγο υπάρχουν υποσταθμοί που κατανέμουν την ισχύ αναλόγως τις ανάγκες. Ατμοηλεκτρικά εργοστάσια στην Ελλάδα υπάρχουν στις περιοχές της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου, της Κοζάνης και της Μεγαλόπολης.

Στη δικιά μας περίπτωση λοιπόν πραγματοποιούμε μία μελέτη για να εγκατασταθεί ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός σε μια χημική βιομηχανία η οποία θα χρησιμοποιεί την θερμική ενέργεια που παράγεται από τον ατμολέβητα, στην παραγωγική διαδικασία.

Σύμφωνα με τον **κ. Σαββάκη, 2002**, μια χημική βιομηχανία θεωρείται ότι καταναλώνει περίπου το 1/3 της συνολικής ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες βιομηχανίες παραγωγής.

Οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία, είναι οι εξής :

α) Θερμική ενέργεια

Η θερμική ενέργεια που παράγεται από την καύση του καυσίμου μεταφέρεται στο δίκτυο και χρησιμοποιείται για την μετατροπή ενός μέρους της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική ενέργεια. Η υπόλοιπη θερμική ενέργεια πηγαίνει στην παραγωγική διαδικασία της χημικής βιομηχανίας.

β) Ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την λειτουργία της αντλίας που θα συμπιέσει το νερό ώστε αυτό να αποκτήσει υψηλή πίεση κατά την είσοδο του στο λέβητα. Επίσης χρησιμοποιείται για τον φωτισμό, όμως το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια για τις μηχανικές λειτουργίες των μηχανημάτων της παραγωγικής διαδικασίας.

γ) Χημική ενέργεια

Η μορφή της ενέργειας που βρίσκεται μέσα στις οργανικές ενώσεις που αποτελούν το μαζούτ (που είναι το καύσιμο που χρησιμοποιεί η χημική βιομηχανία μας) χαρακτηρίζεται ως χημική. Κατά την καύση λοιπόν του μαζούτ, η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική.

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί αποτελούνται από διάφορα σημαντικά μέρη τα οποία είναι απαραίτητα για την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Η βάση λοιπόν του ατμοηλεκτρικού σταθμού είναι ο ατμολέβητας, όπου εκεί πραγματοποιείται η ατμοπαραγωγή, ανάλογα με την ισχύ και το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί.

Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που υπάρχουν σήμερα χρησιμοποιούνται διάφορα είδη ορυκτών καυσίμων προς καύση, για να παράγουν την ζητούμενη θερμική ενέργεια.

Σύμφωνα με τον **κ. Σαββάκη, 2002**, ως καύσιμα χαρακτηρίζονται τα υλικά τα οποία με τη βοήθεια διάφορων διεργασιών, ελευθερώνουν τη χημική ενέργεια που περιέχουν. Τα ορυκτά καύσιμα, λοιπόν, που χρησιμοποιούνται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς διακρίνονται σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα.

α) Στερεά καύσιμα

Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται οι γαιάνθρακες. Οι γαιάνθρακες είναι υλικά οργανικής προέλευσης που χρησιμοποιούν σήμερα οι πιο πολλές βιομηχανίες λόγω οικονομικού ενδιαφέροντος. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από άνθρακα **C**, υδρογόνο **H**, οξυγόνο **O**, μικρά ποσά θείου **S**, αζώτου **N** και ανόργανων υλών. Οι γαιάνθρακες ταξινομούνται ανάλογα με την

περιεκτικότητα τους σε άνθρακα. Ο βασικότερος γαιάνθρακας που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες είναι ο Λιγνίτης. (Σαββάκης, 2002)

β) Υγρά καύσιμα

Τα υγρά καύσιμα παράγονται από το αργό πετρέλαιο. Ως αργό πετρέλαιο χαρακτηρίζεται το πετρέλαιο που δεν έχει υποστεί επεξεργασία. Το πετρέλαιο μετά την κλασματική απόσταξη του κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες. Μία από αυτές τις κατηγορίες που χρησιμοποιείται προς καύση μέσα στον ατμολέβητα είναι το μαζούτ που χαρακτηρίζεται και ως πετρέλαιο λεβήτων. (Σαββάκης, 2002, Νόμπελης, 2006)

γ) Αέρια καύσιμα

Τα αέρια καύσιμα είναι διαφόρων ειδών. Σύμφωνα με τον **κ. Σαββάκη, 2002**, το φυσικό αέριο είναι το βασικότερο αέριο καύσιμο που χρησιμοποιείται σε ατμολέβητες για την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Εξάγεται σε μεγάλες ποσότητες από τις γεωτρήσεις του αργού πετρελαίου.

Στη δικιά μας περίπτωση έχει επιλεχτεί προς καύση, το υγρό καύσιμο **μαζούτ**, και είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε στην μελέτη μας, ώστε μετά την καύση του να ακολουθήσει η ατμοπαραγωγή με τα κατάλληλα ποσά θερμότητας που θα εκλύονται.

Για να πραγματοποιηθεί όμως η σωστή καύση του μαζούτ, πρέπει αρχικά να προθερμανθεί για να έχει καλή ρευστότητα και να διασκορπιστεί με την βοήθεια ψεκασμού, ώστε να επιτύχουμε πιο γρήγορα την εξάτμιση του. Έτσι σύμφωνα με τον **κ. Διαβάτη, 2011**, η φλόγα δημιουργείται λόγω των σταγονιδίων κατά την διάρκεια του ψεκασμού και τα σταγονίδια αυτά εξατμίζονται κατά το ξεκίνημα της καύσης.

Για την πραγματοποίηση της μελέτης της εγκατάστασης του ατμοηλεκτρικού σταθμού που πρέπει να ολοκληρώσουμε, θα αναπτύξουμε διάφορες επιστημονικές μεθόδους που θεωρούνται εφαρμόσιμες σε μία βιομηχανία και αυτές αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η συγκρότηση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού βασίζεται κυρίως στον ατμολέβητα και τον ατμοστρόβιλο, δύο τμήματα τα οποία χαρακτηρίζουν την ικανότητα παραγωγής ενέργειας του σταθμού αυτού. Πιο συγκεκριμένα, το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί για την καύση, με την επιλογή της κατάλληλης ποιότητας, ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη θερμική ενέργεια, τα κατασκευαστικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε σε διάφορα τμήματα των εγκαταστάσεων, είναι κάποια από τα βασικά συστατικά, τα οποία δείχνουν το πόσο καλά λειτουργεί ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός.

Η εγκατάσταση του ατμοηλεκτρικού σταθμού, είναι προτιμότερο να βρίσκεται κοντά σε ποτάμια και θάλασσες για να έχουμε άμεση τροφοδοσία νερού για το εργαζόμενο μέσο που κυκλοφορεί στους αυλούς του ατμολέβητα αλλά και στους αυλούς του συμπυκνωτή ως νερό ψύξης, για τη συμπύκνωση του ατμού.

1.2 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Για την περίπτωση την δικιά μας, ο ατμοηλεκτρικός σταθμός θα περιλαμβάνει :

- Ατμολέβητα υψηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού.
- Ατμοστρόβιλο.
- Ηλεκτρογεννήτρια.
- Μειωτή πίεσης και ψύκτη ατμού (για τη περίπτωση που η θερμική ενέργεια του ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο, δεν επαρκεί ώστε να σταλεί στην παραγωγική διαδικασία).

- Συμπυκνωτή (για την περίπτωση που η θερμική ενέργεια του ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο, περισσεύει καθώς θα σταλεί στην παραγωγική διαδικασία).
- Φυγοκεντρική αντλία.

1.2.1 Ατμολέβητας υψηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού. Σύμφωνα με τον **κ. Παπαγεωργίου, 1991**, ο ατμοπαραγωγός αποτελεί έναν εναλλάκτη θερμότητας, μεταξύ ενός ρεύματος θερμού καυσαερίου και ενός ρεύματος νερού, που καθώς διαρρέει τον ατμοπαραγωγό, μετασχηματίζεται βαθμιαία σε κορεσμένο και υπέρθερμο ατμό, παίρνοντας θερμότητα απ' το καυσαέριο.

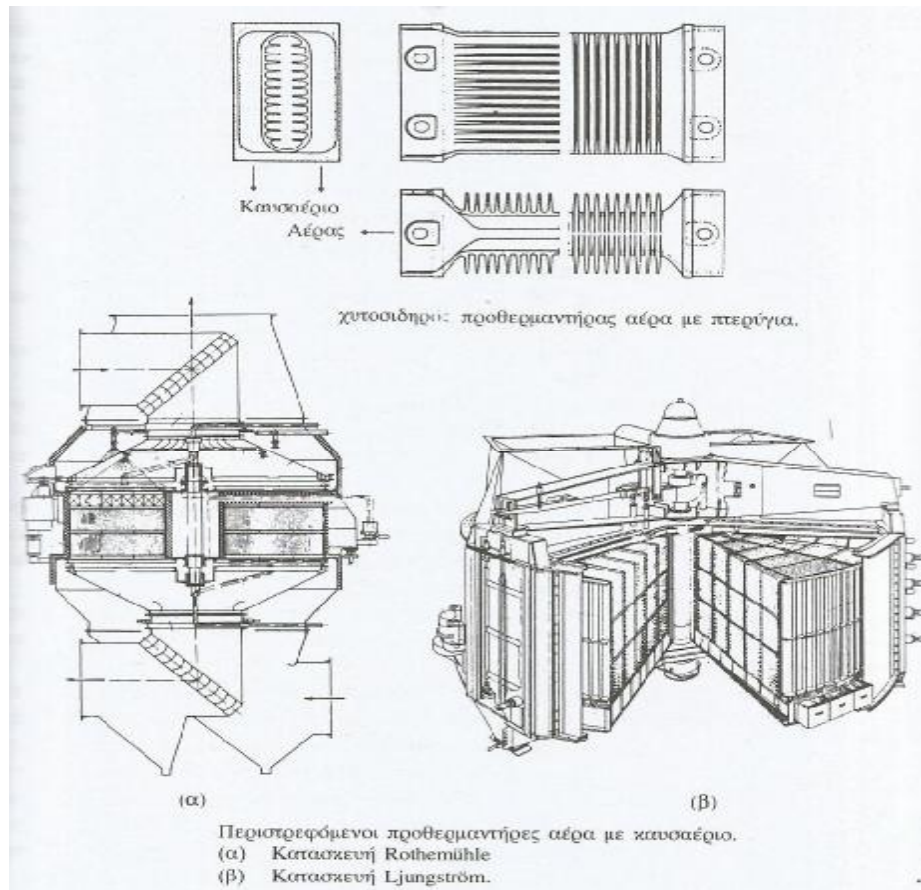
Για την δικιά μας περίπτωση, ο ατμολέβητας θα περιλαμβάνει:

- Προθερμαντήρα του καυσίμου.
- Προθερμαντήρα νερού.
- Υπερθερμαντήρα ατμού.
- Καυστήρα υγρού καυσίμου και φλογοθάλαμο.
- Υδραυλούς.
- Τύμπανο.
- Καπνοδόχο.
- Φυγοκεντρικό ανεμιστήρα.

Ο προθερμαντήρας του καυσίμου, είναι ένα απαραίτητο στοιχείο του ατμολέβητα, καθώς βελτιώνει την απόδοση του καυσίμου. Τοποθετείται πριν τον καυστήρα και προθερμαίνει το υγρό καύσιμο (που έχουμε επιλέξει για την δικιά μας περίπτωση), ώστε αυτό να έχει γρήγορη και καλή κυκλοφορία με τη λιγότερη υγρασία. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να πετύχουμε μία ικανοποιητική καύση.

Σε πολλούς ατμολέβητες τοποθετείται προθερμαντήρας αέρα, ο οποίος θερμαίνει τον αέρα καύσης μέσω των καπναερίων και βελτιώνει την απόδοση του ατμολέβητα.

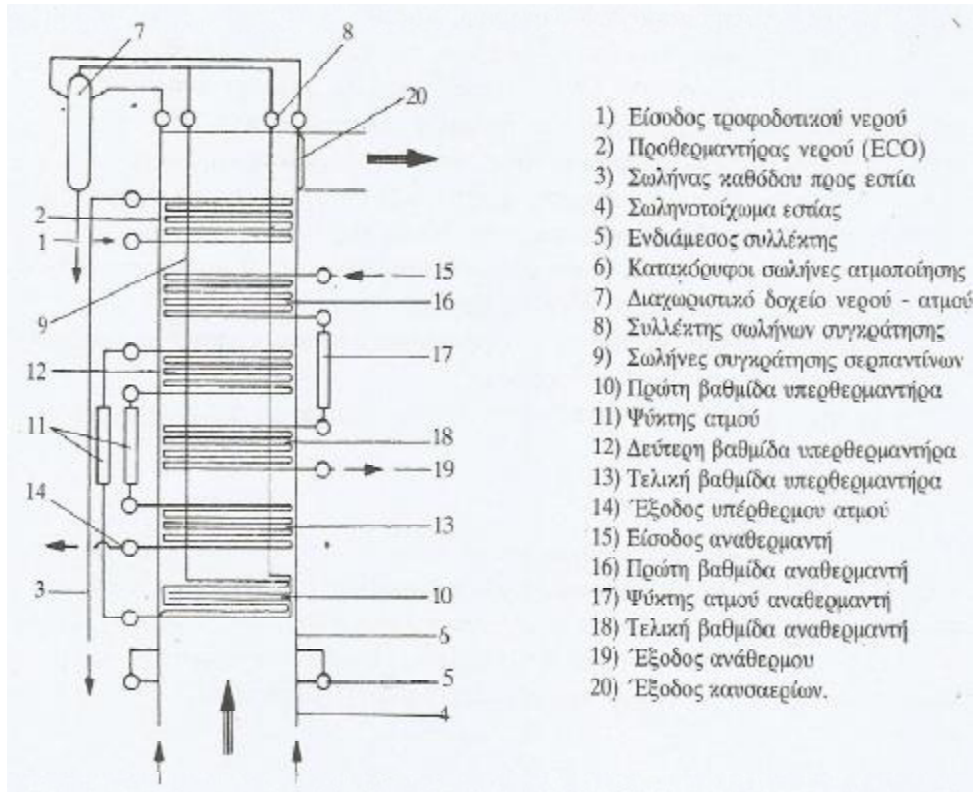
Στο Σχ 1.1 φαίνονται οι περιστρεφόμενοι προθερμαντήρες αέρα με καυσαέριο.



Σχήμα 1.1: Περιστρεφόμενοι προθερμαντήρες αέρα με καυσαέριο.
(Παπαγεωργίου, 1991)

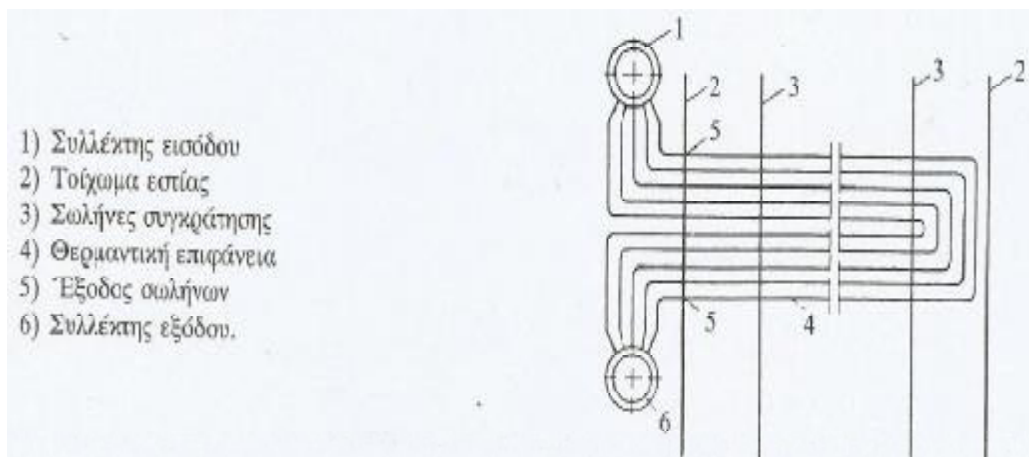
Ο προθερμαντήρας νερού συνδέεται με το σωλήνα τροφοδοσίας του νερού. Έτσι το νερό που περνάει από το τμήμα αυτό, προθερμαίνεται σε μια κατάλληλη θερμοκρασία και καταλήγει στο τύμπανο (υδροθάλαμος). Η θερμότητα που έχει αποκτήσει ο προθερμαντήρας νερού, λαμβάνεται από τα καπναέρια που κυκλοφορούν γύρω από αυτόν, πριν καταλήξουν στην καπνοδόχο.

Στο Σχ. 1.2 φαίνεται η διάταξη επιφανειών μεταφοράς σε Ατμοπαραγωγό.



Σχήμα 1.2: Διάταξη επιφανειών μεταφοράς σε Ατμοπαραγωγό.
(Παπαγεωργίου, 1991)

Ο υπερθερμαντήρας ατμού, τοποθετείται μετά το τύμπανο και υπερθερμαίνει τον κορεσμένο ατμό που διέρχεται μέσα σε αυτόν.
Στο Σχ. 1.3 φαίνεται η διάταξη σωλήνων υπερθερμαντήρα.



Σχήμα 1.3: Διάταξη απλού κυλινδρικού Ατμοπαραγωγού
(Παπαγεωργίου, 1991)

Ο Καυστήρας υγρού καυσίμου, τοποθετείται στην εστία καύσης του θαλάμου, μέσα στην οποία πραγματοποιείται η καύση του υγρού καυσίμου. Εκεί απελευθερώνεται η θερμότητα και μεταφέρεται μέσω των καπναερίων στα υπόλοιπα τμήματα του ατμολέβητα.

Οι υδραυλοί βρίσκονται κάθετα και περιμετρικά γύρω από το φλογοθάλαμο για να πετύχουμε την απορρόφηση μεγάλου μέρους της θερμικής ενέργειας λόγω της ακτινοβολίας που εκπέμπει η φλόγα και το καύσιμο. Στους υδραυλούς εσωτερικά, ρέει το νερό ως εργαζόμενο μέσο, το οποίο συμβάλει στην ατμοποίηση του συστήματος. Οι υδραυλοί περιλαμβάνουν ακόμη και την οροφή του φλογοθαλάμου, καλύπτοντας έτσι την πρώτη σειρά, όπως χαρακτηρίζεται, έχοντας κεκλιμένο σχηματισμό. Σειρές των κεκλιμένων αυλών, βρίσκονται επίσης και στο αρχικό τμήμα, το οποίο ξεκινά πάνω από την οροφή του φλογοθαλάμου και τελειώνει μετά από μερικές παράλληλες σειρές, καθώς επίσης και στο τελικό τμήμα, στο οποίο εκεί, οι υδραυλοί, βρίσκονται μεταξύ των αυλών επιστροφής του φλογοθαλάμου και του αρχικού τμήματος.

Το Τύμπανο είναι ένας αποθηκευτικός θάλαμος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται ο διαχωρισμός νερού – ατμού και λόγω αυτού χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Υδροθάλαμος.
- Ατμοθάλαμος.

Ο υδροθάλαμος βρίσκεται στο κάτω μέρος του τυμπάνου που εκεί υπάρχει το νερό το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση βρασμού.

Ο ατμοθάλαμος βρίσκεται στο πάνω μέρος του τυμπάνου που εκεί υπάρχει ο ατμός, ο οποίος καταφεύγει από έναν σωλήνα και κατευθύνεται στην συνέχεια στον υπερθερμαντήρα.

Η Καπνοδόχος τοποθετείται στο δεξιό άκρο του ατμολέβητα και συνδέεται με τον αγωγό των καπναερίων. Έτσι όταν καπναέρια περάσουν από όλα τα τμήματα, καταλήγουν μέσω του αγωγού αυτού στην καπνοδόχο. Εκεί τα καπναέρια αποβάλλονται έξω στην ατμόσφαιρα.

Ο Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας, τοποθετείται στη βάση της καπνοδόχου και ωθεί τα καπναέρια προς το περιβάλλον. Έτσι τα καπναέρια μπορούν να υπερνικήσουν τις απώλειες πίεσης, που οφείλονται στις αντιστάσεις ροής εντός του ατμολέβητα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την αύξηση της παροχής των καπναερίων προς την έξοδο με μεγάλη ταχύτητα, ώστε να επιτύχουμε τη καλύτερη διάχυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

1.2.2 Ατμοστρόβιλος. Ο ατμοστρόβιλος είναι μία μηχανή, στην οποία ο κεντρικός της άξονας περιστρέφεται εξαιτίας της πίεσης που ασκεί ο ατμός στα πτερύγια της. Ο άξονας αυτός συνδέεται με μία ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.3 Ηλεκτρογεννήτρια. Όπως προαναφέραμε, η ηλεκτρογεννήτρια είναι συνδεδεμένη με τον ατμοστρόβιλο και καθώς λοιπόν αυτός περιστρέφεται, η μηχανική του ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

1.2.4 Μειωτής πίεσης και ψύκτης ατμού. Στην περίπτωση που η θερμική ενέργεια του ατμού δεν επαρκεί μετά τον ατμοστρόβιλο, θα ενεργοποιούνται ο μειωτής πίεσης και ο ψύκτης ατμού σε ένα ξεχωριστό κύκλωμα, όπου θα τροφοδοτούν την παραγωγική διαδικασία με επιπλέον ποσό θερμότητας ατμού ίδιας πίεσης, από ένα άλλο σύστημα.

Ο μειωτής πίεσης και ο ψύκτης ατμού, αποτελούν ένα ξεχωριστό σύστημα εντός του ατμοηλεκτρικού σταθμού, και συμβάλουν στην μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας του επιπρόσθετου ατμού υψηλής πίεσης που χρειαζόμαστε για την παραγωγική διαδικασία.

1.2.5 Συμπυκνωτής. Ο συμπυκνωτής βρίσκεται μετά τον ατμοστρόβιλο. Στην περίπτωση που η θερμική ενέργεια του ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο δεν είναι απαραίτητη για την παραγωγική διαδικασία, θα ενεργοποιείται ο συμπυκνωτής που θα περιλαμβάνει τους πύργους ψύξεως. Με την βοήθεια αυτών, ο συμπυκνωτής θα αποβάλει το περισσευούμενο ποσό της θερμικής ενέργειας του ατμού στο περιβάλλον.

1.2.6 Φυγοκεντρική αντλία. Μετά την παραγωγική διαδικασία τοποθετείται μία φυγοκεντρική αντλία, η οποία επαναφέρει το νερό στον ατμολέβητα, αυξάνοντας την πίεση του.

1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Αρχικά γίνεται η καύση του καυσίμου στην εστία του ατμοπαραγωγού, και παράγεται θερμότητα. Στη συνέχεια, μέσω των καπναερίων και της ακτινοβολίας που εκπέμπει η φλόγα και το καύσιμο, μεταφέρεται θερμότητα στην εξωτερική επιφάνεια των αυλών με σκοπό την ατμοποίηση του νερού, ώστε να ακολουθήσει η ατμοπαραγωγή. Το νερό του τυμπάνου πριν την καύση, έχει τροφοδοτηθεί από το δίκτυο και έχει υποστεί συμπίεση και προθέρμανση. Μόλις λοιπόν παραχθεί ο ατμός, γίνεται υπέρθερμος από τον υπερθερμαντήρα ατμού, και πηγαίνει από τον ατμολέβητα στον ατμοστρόβιλο. Εκεί ο υπέρθερμος ατμός εκτονώνεται, προκαλώντας περιστροφή στον άξονα του ατμοστρόβιλου. Έτσι με αυτό τον τρόπο προσφέρει ένα μέρος της θερμικής του ενέργειας, η οποία μετατρέπεται σε μηχανική. Επειδή λοιπόν ο ατμοστρόβιλος κινεί ηλεκτρογεννήτρια, η μηχανική του ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική την οποία εκμεταλλεύεται η χημική βιομηχανία για άλλες λειτουργίες. Η υπόλοιπη θερμότητα του ατμού κατά την έξοδο του ατμοστρόβιλου, ελέγχεται με μία συσκευή η οποία συγκρίνει το πόσο κοντά φτάνει η τιμή της θερμικής ενέργειας του ατμού στην επιθυμητή, ώστε να προχωρήσει ο ατμός στην παραγωγική διαδικασία. Έτσι λοιπόν, με τη βοήθεια του συστήματος αυτοματισμού που θα τοποθετήσουμε, θα μπορέσουμε να εξισορροπήσουμε την ποσότητα του ατμού με την επιθυμητή, όπως αναφέρεται αναλυτικά στην ενότητα 4.12. Μετά από αυτή τη διαδικασία, ο ατμός κατευθύνεται στην παραγωγική διαδικασία η οποία λειτουργεί όπως θα λειτουργούσε ένας συμπυκνωτής αντίστοιχα. Δηλαδή μετά από τις διεργασίες που θα ακολουθήσουν, ο ατμός θα έχει μετατραπεί σε νερό με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, όπως ήταν στην αρχική του κατάσταση και στη συνέχεια το νερό θα επιστρέψει πίσω με την φυγοκεντρική αντλία, ώστε ξανά να ακολουθήσει η όλη διαδικασία από την αρχή.

1.4 ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΤΜΟΥ

Όταν παραχθεί ο ατμός και φτάσει προς την έξοδο του ατμολέβητα, ακολουθεί την κεντρική γραμμή, δηλαδή τις σωληνώσεις που τον κατευθύνουν από τον ατμολέβητα στις επιμέρους εγκαταστάσεις όπως είναι ο ατμοστρόβιλος. Αυτό λοιπόν το σύνολο των σωληνώσεων χαρακτηρίζεται ως **το δίκτυο του παραγόμενου ατμού**.

Ο ατμός λοιπόν χρειάζεται μία απαιτούμενη τιμή πίεσης, κάθε φορά που εισέρχεται σε κάποιο τμήμα του σταθμού. Γι ' αυτό τον λόγο στο δίκτυο τοποθετούνται ρυθμιστές πίεσης, ώστε να ρυθμίζουν κατάλληλα την πίεση του ατμού. Οι σωλήνες αυτοί του δικτύου, αποτελούνται από χάλυβα ώστε να αντέχουν σε αυτές τις πιέσεις αλλά και στις υψηλές θερμοκρασίες. Ο χάλυβας είναι τυποποιημένος με βάση το πάχος και την εξωτερική διάμετρο των σωλήνων.

Όσον αφορά τώρα για τις απώλειες λόγω τριβής, αλλά και τις τοπικές απώλειες πίεσης που συναντάμε στο μήκος των σωληνώσεων, δεν θα επιμείνουμε σε αυτό, καθώς θα θεωρήσουμε για την παρούσα μελέτη μας πως είναι αμελητέες.

Σε ένα δίκτυο συναντάμε επίσης ένα πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο μεταφέρει το συμπύκνωμα στο δοχείο συμπυκνωμάτων χωρίς να μεταφέρει τον ατμό. Η συσκευή αυτή δηλαδή παγιδεύει τον ατμό και γι' αυτό ονομάζεται **ατμοπαγίδα**. Έτσι ο ατμός που παγιδεύεται συμβάλει στην εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας χωρίς να χαθεί στο περιβάλλον.

Οι ατμοπαγίδες κατηγοριοποιούνται σε:

- Θερμοδυναμικές ατμοπαγίδες.
- Μηχανικές ατμοπαγίδες.
- Θερμοστατικές ατμοπαγίδες.

Στις Θερμοδυναμικές ατμοπαγίδες, η λειτουργία τους έχει να κάνει καθαρά με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ατμού.

Στις Μηχανικές ατμοπαγίδες, η λειτουργία τους οφείλεται ανάλογα με τη στάθμη των συμπυκνωμάτων που εμπεριέχονται στην ατμοπαγίδα.

Στις Θερμοστατικές ατμοπαγίδες, η λειτουργία τους έχει να κάνει με την θερμοκρασία του ατμού.

Οι ατμοπαγίδες χρειάζονται τακτικά αλλαγή, καθώς έχουν μικρή διάρκεια ζωής σε σχέση με άλλα εξαρτήματα του δικτύου. Το θετικό όμως είναι ότι έχουν χαμηλό κόστος και έτσι αυτό δεν προκαλεί εμπόδιο. Η συντήρησή τους ωστόσο έχει μεγάλο κόστος και είναι ένα από τα προβλήματα που συναντάει κανείς σήμερα.

1.5 ΟΙ ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Σε έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό οι αντλίες που συναντάμε είναι οι εξής:

- α) Τροφοδοτικές αντλίες
- β) Αντλίες συμπυκνώματος
- γ) Αντλίες κυκλοφορίας ψυκτικού νερού
- δ) Αντλίες ανακυκλοφορίας

Οι τροφοδοτικές αντλίες μεταφέρουν το τροφοδοτικό νερό από το σημείο κατάθλιψης της αντλίας στον ατμολέβητα και κατά συνέπεια αυξάνουν την πίεση του. Χαρακτηρίζονται και ως φυγοκεντρικές αντλίες αφού απομακρύνουν το νερό από τον άξονα τους. Οι αντλίες αυτές λειτουργούν με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα και δεν συνδέονται άμεσα με αυτόν. Η κάθε αντλία τροφοδοτεί το 50% της ποσότητας του νερού και γι' αυτό τον λόγο τοποθετούνται δύο αντλίες μαζί, ώστε να έχουμε ολοκληρωτική μεταφορά.

Οι αντλίες συμπυκνώματος τοποθετούνται στην έξοδο του συμπυκνωτή και μεταφέρουν το συμπύκνωμα στη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού. Στη περίπτωση αυτή τοποθετούνται δύο αντλίες όπου η μία είναι εφεδρική. Επομένως η άλλη μεταφέρει εξ' ολοκλήρου όλη τη ποσότητα του νερού.

Οι αντλίες κυκλοφορίας ψυκτικού νερού τοποθετούνται εντός του συμπυκνωτή και παρέχουν το ψυκτικό νερό στον ατμό που έχει εισέλθει, ώστε να συμπυκνωθεί. Χρειάζονται δύο αντλίες για την λειτουργία αυτή όπου η κάθε μία μεταφέρει περίπου τα 2/3 της ποσότητας του ψυκτικού νερού.

Οι αντλίες ανακυκλοφορίας είναι για την περίπτωση που έχουμε ατμολέβητα τεχνητής ή εξαναγκασμένης ροής και χρησιμοποιούνται για την ανακυκλοφορία του νερού από το νερό τυμπάνου στο σωλήνα επιστροφής.

1.6 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΩΣ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο ατμός όπως και το νερό είναι δύο εργαζόμενα ρευστά, τα οποία όμως διαφέρουν ως προς την κατασκευή του σωλήνα που μεταφέρονται και ως προς το κόστος που απαιτείται για την επίτευξη της μεταφοράς αυτής. Έστω λοιπόν πως μιλάμε για το ίδιο θερμικό φορτίο που μεταφέρουν τα δύο ρευστά, ο ατμός

χρειάζεται μικρούς σωλήνες για την μεταφορά του σε σχέση με το νερό. Αυτό σημαίνει μικρότερη δαπάνη για τις εγκαταστάσεις σωλήνων που μεταφέρεται ο ατμός. Σαν συνέπεια αυτού συναντάμε και λιγότερες απώλειες λόγω ακτινοβολίας. Επίσης για την μεταφορά του ατμού, δεν χρειάζονται φυγοκεντρικές αντλίες. Αντίθετα για τη μεταφορά του νερού χρειάζονται, κάτι το οποίο έχει μεγάλο κόστος. Ακόμη δεν χρειάζονται πολλά στηρίγματα βάρους για τον ατμό σε σχέση με το νερό. Επομένως ωφελεί καλύτερα ο ατμός, ως το εργαζόμενο μέσο για την λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού.

1.7 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΤΩΝ

Η επεξεργασία του νερού είναι απαραίτητη προϋπόθεση για έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό. Το νερό πέρα από το γεγονός ότι συμβάλει στην διαδικασία της ατμοπαραγωγής, μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές στα τμήματα του ατμολέβητα καθώς επίσης και στο δίκτυο σωληνώσεων . Αυτό γιατί το νερό πολλές φορές μεταφέρει μαζί του αιωρούμενα στερεά ή και αέρια σωματίδια, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται μαζί με τον ατμό. Οι περιπτώσεις που συναντάμε συνήθως είναι :

- α) Έντονη υπερθέρμανση των αυλών
- β) Διαβρώσεις τμημάτων του ατμολέβητα
- γ) Διαβρώσεις στο δίκτυο σωληνώσεων
- δ) Κακή φυσική ροή
- ε) Υγροποίηση ατμού

Για να αποφύγουμε λοιπόν τις παραπάνω επιπτώσεις του ακάθαρτου νερού, ακολουθείται μια διαδικασία στην οποία φιλτράρεται το νερό έξω αλλά και μέσα στον ατμολέβητα. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Τοποθέτηση ειδικών φίλτρων για την αποβολή αιωρούμενων στερεών σωματιδίων.
- Πρόσθεση διάφορων χημικών ουσιών για την αποφυγή διαβρώσεων.
- Συνεχή μεταφορά του νερού για την αποφυγή επικαθήσεων.

1.8 ΑΤΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Σε περίπτωση που ένας ατμολέβητας υποστεί μία στιγμιαία βλάβη και διακοπεί η ατμοπαραγωγή, μπορεί να υπάρχει και μία εφεδρική ατμογεννήτρια δηλαδή ένας μικρός ατμολέβητας που θα παράγει στιγμιαία ατμό.

Για μία τέτοια εγκατάσταση δεν απαιτείται μεγάλο κόστος κατασκευής, ούτε και μεγάλο κόστος για το ίδιο το καύσιμο. Είναι μια εγκατάσταση η οποία δεν καταλαμβάνει μεγάλο χώρο και λειτουργεί αξιόπιστα.

1.9 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

Ο ρόλος του συμπυκνωτή, είναι να ψύχει τον ατμό που εισέρχεται με την βοήθεια του ψυκτικού υγρού. Χαρακτηρίζεται και ως το ψυγείο του ατμοηλεκτρικού σταθμού. Ο συμπυκνωτής διακρίνεται σε:

- Συμπυκνωτής νερού.
- Συμπυκνωτής ανάμειξης.

Στο συμπυκνωτή νερού, ο ατμός που εισέρχεται μέσα σε αυτόν, ψύχεται από τους υδραυλούς στους οποίους κυκλοφορεί το ψυκτικό νερό.

Στο συμπυκνωτή ανάμειξης, το νερό ψύξης εισχωρεί μέσα στον ατμό και αναμιγνύεται με αυτόν.

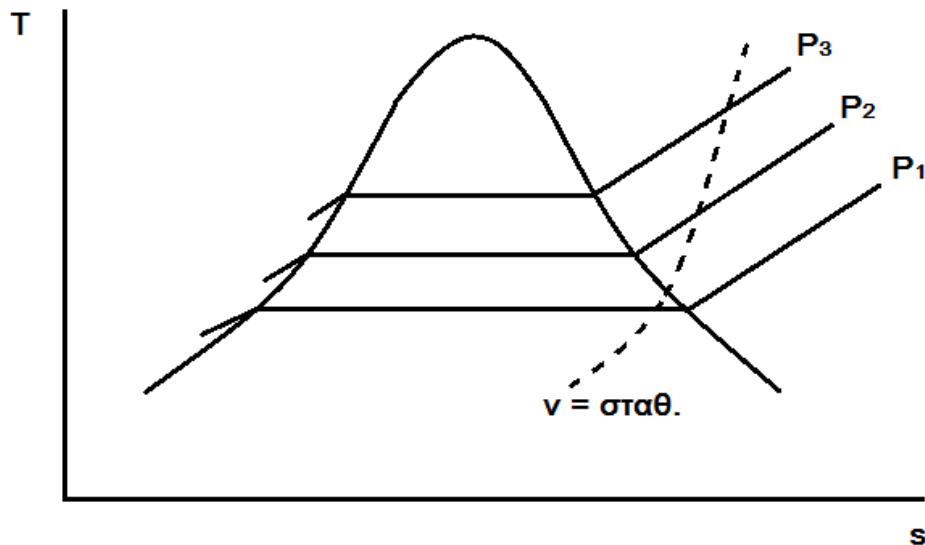
Ο συμπυκνωτής και στις δύο περιπτώσεις περιλαμβάνει τους πύργους ψύξεως που λειτουργούν ως δεξαμενές νερού και εκεί αποβάλλεται η θερμότητα του ατμού προς το περιβάλλον.

1.10 ΟΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ (T, P, h, \hat{v}, s) ΚΑΙ Ο ΚΥΚΛΟΣ RANKINE

Το διάγραμμα νερού – ατμού ή αλλιώς Κύκλος Rankine, είναι ένα πολύ σημαντικό διάγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη μας, ώστε να βρούμε βασικά στοιχεία που χρησιμεύουν για την πραγματοποίηση απαραίτητων υπολογισμών. Μιλάμε για ένα διάγραμμα θερμοκρασίας συναρτήσεως της εντροπίας ($T - s$). Το διάγραμμα λοιπόν αυτό, περιλαμβάνει τιμές θερμοκρασίας T σε μονάδες $^{\circ}\text{C}$ στο κάθετο άξονα και τιμές της εντροπίας s σε

μονάδες $KJ/Kg \cdot ^\circ K$ στον οριζόντιο άξονα. Το σχήμα εντός των δύο κάθετων αξόνων χαρακτηρίζεται ως "καμπάνα" εντός της οποίας συνυπάρχει ο ατμός με το υγρό. Αριστερά από την "καμπάνα" υπάρχει μόνο υγρό και δεξιά από την "καμπάνα" υπάρχει μόνο ατμός. Οι οριζόντιες γραμμές που συνδέουν το ένα άκρο της "καμπάνας" με το άλλο, δηλώνουν τις τιμές των απόλυτων πιέσεων σε μονάδες μέτρησης bar.

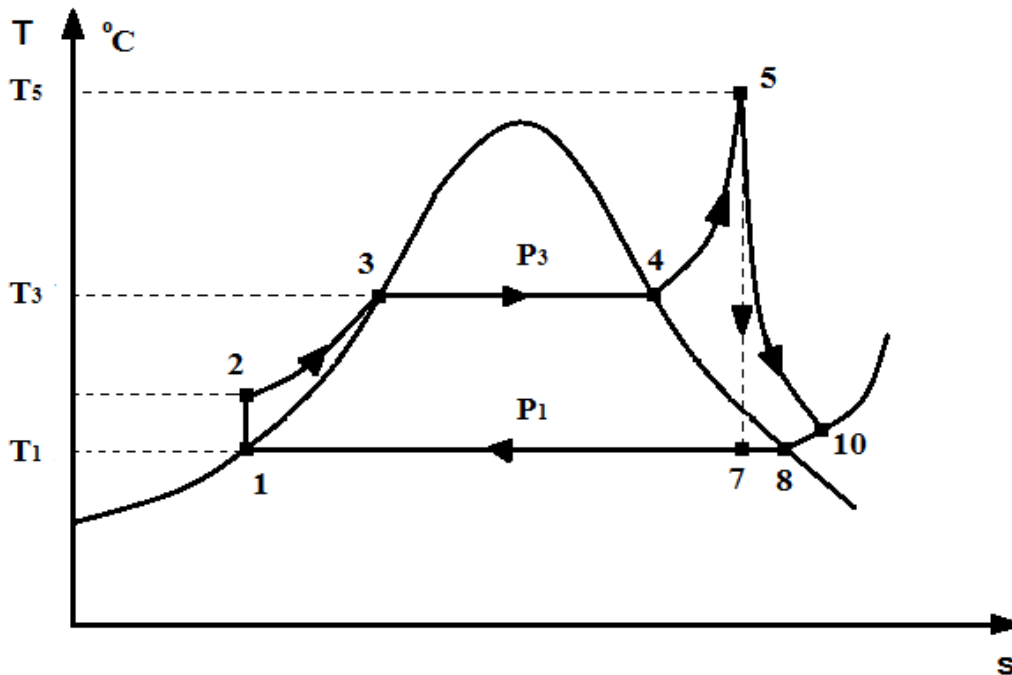
Στο Σχ. 1.4 φαίνονται αναλυτικά τα μεγέθη που αναφέραμε παραπάνω.



Σχήμα 1.4: $T-s$ διάγραμμα νερού – ατμού (Δελίδης, 2001)

Με τη βοήθεια λοιπόν, του κύκλου Rankine, βρίσκουμε τις τιμές θερμοκρασίας, εντροπίας και πίεσης. Έτσι γνωρίζοντας τα μεγέθη αυτά, μπορούμε σύμφωνα με το βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, μέσα από πίνακες που διαθέτει, να βρούμε τις τιμές της ειδικής ενθαλπίας h και του ειδικού όγκου \hat{v} .

Τα σημεία αυτά που βρίσκονται στον κύκλο Rankine, φαίνονται στο Σχ. 1.5.



Σχήμα 1.5: Διάγραμμα $T-s$ (Γιαννόπουλος, 2011)

Παρακάτω δίνεται μία συνοπτική περιγραφή για το κάθε σημείο στο κύκλο Rankine.

Σημείο 1

Αναφερόμαστε στο αρχικό σημείο, όπου το νερό εισέρχεται στην αντλία με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία. Το σημείο αυτό χαρακτηρίζεται ως κορεσμένο σημείο νερού.

Σημείο 2

Στο σημείο 2 το νερό έχει εξέλθει από την αντλία με αυξημένη πίεση από P_1 σε P_2 και εισέρχεται στον ατμολέβητα. Λόγω του ότι το νερό όμως είναι ασυμπίεστο, δηλαδή έχει σταθερή πυκνότητα, η θερμοκρασία και ο ειδικός όγκος μεταβάλλονται ελάχιστα. Για την δικιά μας περίπτωση η θερμοκρασία αυξάνεται λίγο ενώ ο ειδικός όγκος παραμένει σταθερός με αυτόν στο σημείο 1. Ακόμη η μεταβολή θεωρείται ισεντροπική. Στο σημείο αυτό το νερό χαρακτηρίζεται ως νερό υπό πίεση.

Σημείο 3

Σε αυτό το σημείο λόγω της καύσης του καυσίμου στο λέβητα, το νερό έχει φτάσει σε θερμοκρασία βρασμού και βρίσκεται συγκεκριμένα στο νερό τυμπάνου. Η πίεση ωστόσο παραμένει ίδια με αυτή στο σημείο 2. Τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη αυξάνονται λόγω παροχής θερμότητας. Το νερό σε αυτό το σημείο χαρακτηρίζεται ως κορεσμένο νερό.

Σημείο 4

Στο σημείο αυτό, το νερό έχει μετατραπεί εξ' ολοκλήρου σε ατμό υπό σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Η θέση του βρίσκεται στον ατμό τυμπάνου. Τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη αυξάνονται λόγω παροχής θερμότητας. Ο ατμός στο σημείο αυτό χαρακτηρίζεται ως κορεσμένος ατμός.

Σημείο 5

Στο σημείο αυτό, ο ατμός έχει υπερθερμανθεί στον υπερθερμαντήρα ατμού εντός του λέβητα. Έτσι ο ατμός χαρακτηρίζεται ως υπέρθερμος ατμός ή ατμός υψηλής πίεσης. Η πίεση του υπέρθερμου ατμού παραμένει σταθερή, ενώ η θερμοκρασία και τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη έχουν αυξηθεί. Ο υπέρθερμος ατμός λοιπόν σε αυτό το σημείο, έχει εξέλθει από τον ατμολέβητα και εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο.

Σημείο 7

Το σημείο αυτό, χαρακτηρίζει την κατάσταση του ατμού στην έξοδο του ιδανικού ατμοστρόβιλου. Ο ατμός υψηλής πίεσης έχει μετατραπεί σε ατμό χαμηλής πίεσης και επειδή το σημείο αυτό βρίσκεται εντός της περιοχής της καμπάνας, ο ατμός χαρακτηρίζεται ως υγρός ατμός. Λόγω της εκτόνωσης του ατμού, μειώνεται η πίεση, η θερμοκρασία, και η ενθαλπία ενώ αυξάνεται ο ειδικός όγκος. Η εντροπία παραμένει σταθερή με αυτή στο σημείο 5.

Σημείο 8

Το σημείο αυτό, είναι ένα βοηθητικό σημείο που χρησιμοποιείται μονάχα για να ελέγξουμε τελικά εάν το σημείο 10 είναι αριστερά ή δεξιά ή ακριβώς πάνω στο σημείο αυτό. Έτσι λοιπόν η θερμοκρασία και η πίεση έχουν τιμή ίδια με το σημείο 1, ενώ οι υπόλοιπες θερμοδυναμικές μεταβλητές είναι αυξημένες. Ο ατμός σε αυτό το σημείο χαρακτηρίζεται ως κορεσμένος ατμός.

Σημείο 10

Το σημείο αυτό, χαρακτηρίζει την κατάσταση του ατμού στην έξοδο του πραγματικού αμοστροβίλου. Ο ατμός υψηλής πίεσης έχει μετατραπεί σε ατμό χαμηλής πίεσης. Στο παραπάνω Σχ. 1.5 φαίνεται ότι το σημείο αυτό βρίσκεται δεξιά από το σημείο 8. Όμως στην πραγματικότητα επειδή δεν το γνωρίζουμε αυτό, πρέπει να γίνει έλεγχος μεταξύ της ενθαλπίας στο σημείο 8 και 10. Αν η ενθαλπία στο σημείο αυτό είναι μεγαλύτερη από αυτή του σημείου 8, τότε το σημείο αυτό βρίσκεται δεξιά από το σημείο 8. Αν ισχύει όμως το αντίθετο, τότε το σημείο αυτό βρίσκεται αριστερά από το σημείο 8. Σε αυτό το σημείο λοιπόν παρατηρείται αύξηση της εντροπίας και του ειδικού όγκου. Λόγω της εκτόνωσης του ατμού, μειώνεται η πίεση, η θερμοκρασία, και η ενθαλπία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

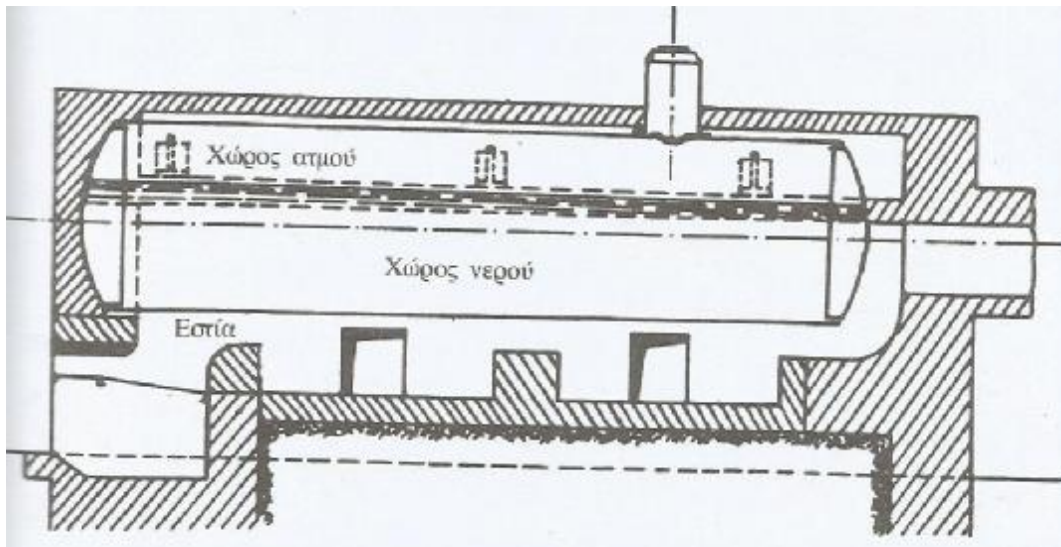
ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

Η ανάγκη του ανθρώπου για να μπορέσει να παράξει ηλεκτρική ενέργεια, τον οδήγησε στην κατασκευή των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Θεωρείται ακόμη και σήμερα, πως με τη διαδικασία του κύκλου του ατμού, μπορούμε να πετύχουμε έναν αρκετά οικονομικό και γρήγορο τρόπο ώστε να παραχθούν μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας και να μετατραπούν σε ηλεκτρική ενέργεια.

Έτσι λοιπόν πριν από κάποια χρόνια, έγινε η πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία των πρώτων ατμολεβήτων, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν το νερό ως εργαζόμενο μέσο και το οποίο βρισκόταν μέσα σε κυλινδρικό δοχείο που ονομάζεται τύμπανο. Οι ατμολέβητες γι αυτό τον λόγο ονομαστήκαν **απλοί κυλινδρικοί ατμοπαραγωγοί**. Εξωτερικά από το τύμπανο λοιπόν έρεε το καυσαέριο, το οποίο όμως δεν έδινε μεγάλα ποσά θερμότητας, λόγω της μικρής θερμαινόμενης επιφάνειας του ατμοπαραγωγού. Γι' αυτό το λόγο υπήρχε χαμηλή ατμοπαραγωγή χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Αυτό φυσικά ήταν και κάτι δαπανηρό για τις εγκαταστάσεις αυτές.

Στο Σχ. 2.1 φαίνεται η διάταξη του απλού κυλινδρικού Ατμοπαραγωγού.



Σχήμα 2.1: Διάταξη απλού κυλινδρικού Ατμοπαραγωγού
(Παπαγεωργίου, 1991)

Έτσι στη συνέχεια για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό, προστέθηκε ο φλογοσωλήνας μεγάλης διαμέτρου και κυματοειδούς μορφής για να αποφεύγει τυχόν διαστολές, ο οποίος βρισκόταν εντός και κατά μήκος του τυμπάνου. Εσωτερικά του σωλήνα αυτού γινόταν η καύση του καυσίμου, και έτσι τα καπναέρια κάλυπταν μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια ώστε να δώσουν μεγάλα ποσά θερμότητας. Πολλές φορές μάλιστα, τοποθετούνταν και δύο παράλληλοι φλογοσωλήνες ίδιας μορφής εντός του τυμπάνου, για την καλύτερη απόδοση. Έτσι οι ατμολέβητες αυτοί ονομαστήκαν **ατμοπαραγωγοί με φλογοσωλήνα**. Ο τρόπος λοιπόν αυτός λειτούργησε καλύτερα, και έτσι αργότερα μαζί με τον φλογοσωλήνα, προστέθηκαν και αεριαυλοί. Αυτοί βρισκόντουσαν εντός του τυμπάνου και παράλληλα με τον φλογοθάλαμο. Έτσι μετά την καύση, το καυσαέριο ακολουθούσε τη διαδρομή των αεριαυλών και έτσι είχαμε καλύτερη συναλλαγή θερμότητας με το νερό του τυμπάνου. Αυτοί οι ατμολέβητες ονομαστήκαν **ατμοπαραγωγοί με φλογοσωλήνα και αεριαυλούς**.

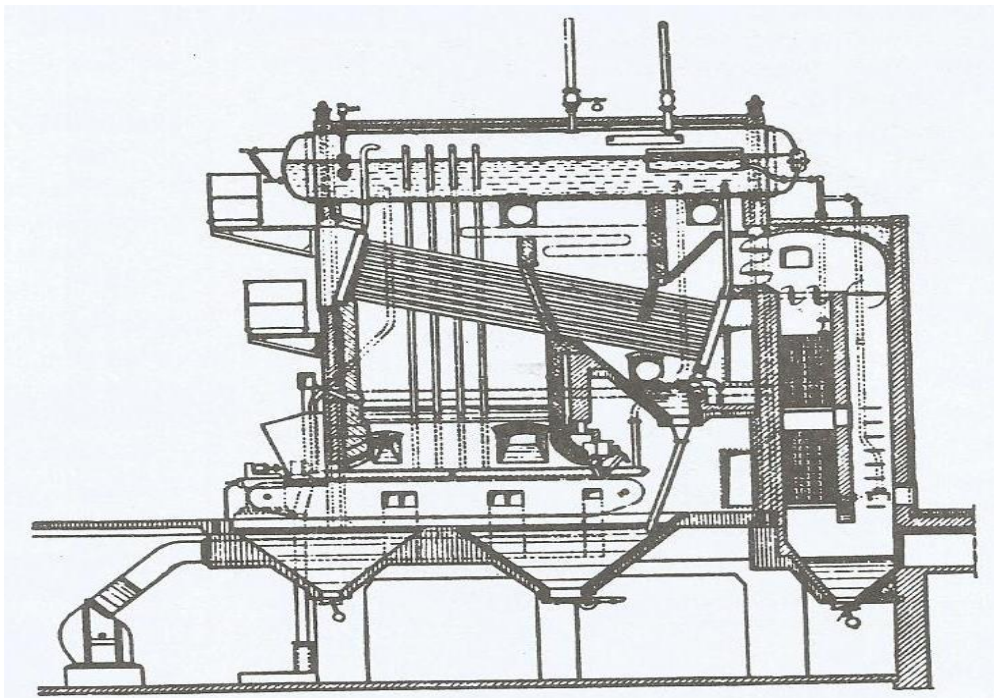
Στη συνέχεια αφού παρατηρήθηκε πως οι εγκαταστάσεις ήταν πολύ δαπανηρές, για την επίτευξη μεγάλων ποσών θερμότητας με τους υδροθαλάμους (τύμπανα) να έχουν μεγάλες διαστάσεις, η όλη εγκατάσταση του ατμολέβητα έπρεπε τελικά να ακολουθήσει μια τελείως διαφορετική πορεία στην όλη διαδικασία καύσης του καυσίμου και στο σχεδιασμό των τμημάτων του. Έτσι συναντάμε αργότερα την τοποθέτηση των υδραυλών (με νερό εσωτερικά αυτών) ή αεριαυλών (με καπναέρια εσωτερικά αυτών) αντίστοιχα, που και στις δύο περιπτώσεις αποτελούνται από μικρή διάμετρο. Εξωτερικά των

υδραυλών κυκλοφορούσε το καυσαέριο το οποίο μετέφερε ποσά θερμότητας στο νερό των αυλών, για να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια ο βρασμός στο νερό του τυμπάνου. Έτσι οι ατμολέβητες γι 'αυτό τον λόγο ονομαστήκαν **υδραυλωτοί ατμοπαραγωγοί** οι οποίοι χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα, με κάποιες όμως αλλαγές στην εγκατάσταση.

Το τύμπανο εξακολουθούσε να υπάρχει, όμως οι διαστάσεις του ήταν μικρότερες και η καύση πλέον γινόταν εκτός αυτού. Το τύμπανο λειτούργησε ως το τμήμα που χώριζε το νερό από τον ατμό. Ο χώρος πλέον που καταλάμβαναν οι εγκαταστάσεις ήταν μικρότερος, με μικρότερο κόστος κατασκευής (φτηνότερο υλικό) και κατά συνέπεια πραγματοποιήθηκαν μεγαλύτερα ποσά θερμότητας σε μικρότερο χρόνο.

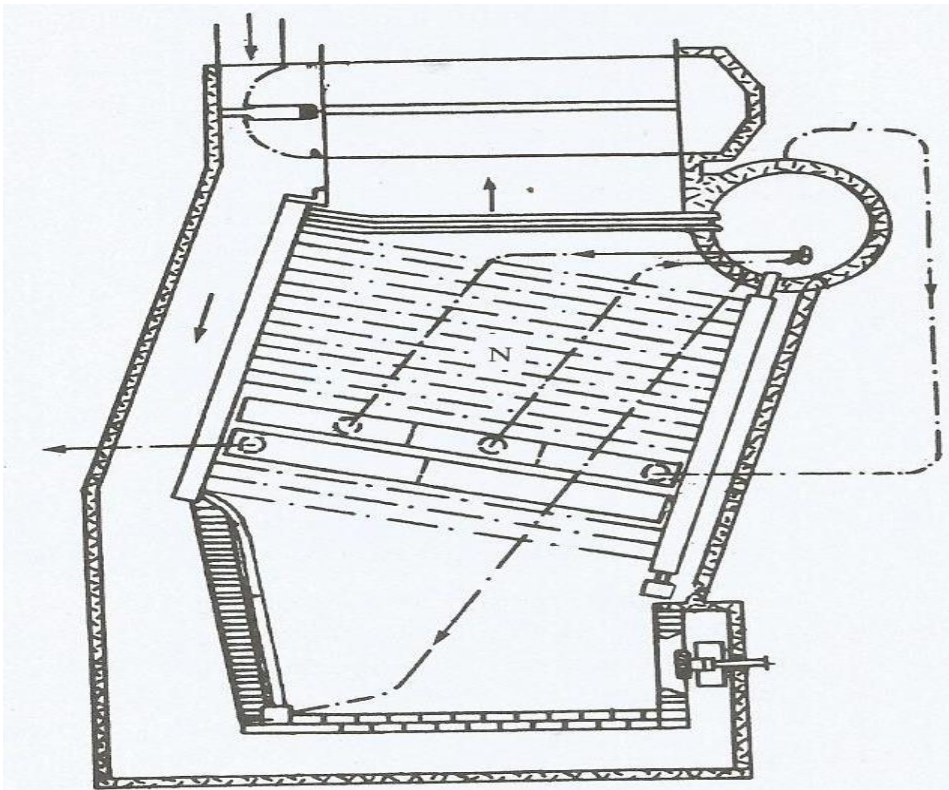
Σε αυτές λοιπόν τις εγκαταστάσεις συναντάμε την εγκατάσταση του προθερμαντήρα που προθερμαίνει το τροφοδοτικό νερό για να διοχετευτεί στη συνέχεια στον υδροθάλαμο και του υπερθερμαντήρα που υπερθερμαίνει τον ατμό. Επίσης η θέση του τυμπάνου έπαιζε καθοριστικό ρόλο για τον ατμολέβητα. Έτσι λοιπόν συναντάμε τους ατμολέβητες με τύμπανο κατά μήκος των υδραυλών και τους ατμολέβητες με τύμπανο εγκάρσιο στους υδραυλούς. Η βασική διαφορά τους έχει να κάνει με την ειδική ατμοποίηση.

Στο Σχ. 2.2 φαίνεται η διάταξη υδραυλωτού Ατμοπαραγωγού με στοιχεία και υδροθάλαμο τοποθετημένο κατά μήκος.



Σχήμα 2.2: Διάταξη υδραυλωτού Ατμοπαραγωγού με στοιχεία και υδροθάλαμο τοποθετημένο κατά μήκος. (Παπαγεωργίου, 1991)

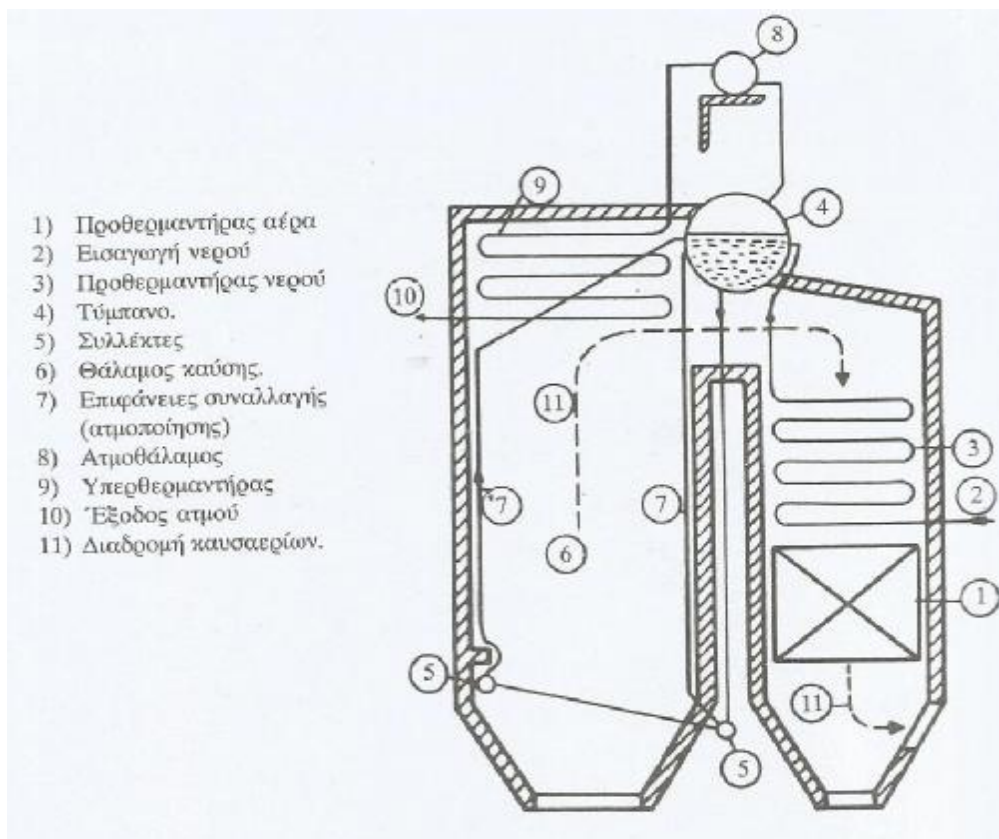
Στο Σχ. 2.3 φαίνεται η διάταξη υδραυλωτού Ατμοπαραγωγού με εγκάρσιο υδροθάλαμο.



Σχήμα 2.3: Διάταξη υδραυλωτού Ατμοπαραγωγού με εγκάρσιο υδροθάλαμο (Παπαγεωργίου, 1991)

Άλλη περίπτωση που συναντάμε είναι οι **ατμοπαραγωγοί με ορθούς υδραυλούς** οι οποίοι σήμερα χαρακτηρίζουν και τους σύγχρονους ατμολέβητες, με τη διαφορά ότι μιλάμε για υδραυλούς κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής, που τοποθετούνται περιμετρικά γύρω από τον φλογοθάλαμο και είναι κάθετοι σε αυτόν. Η ακτινοβολία λοιπόν που εκπέμπει η φλόγα και το παραγόμενο καυσαέριο, προσδίδεται προς τους αυλούς που περιέχουν νερό ή ατμό ως εργαζόμενο μέσο, δίνοντας τους σημαντικό ποσό θερμικής ενέργειας ώστε να ακολουθήσει αργότερα ο βρασμός του νερού στο τύμπανο.

Στο Σχ. 2.4 φαίνεται η διάταξη Ατμοπαραγωγού, με ορθούς υδραυλούς (Αρχή).



Σχήμα 2.4: Διάταξη Ατμοπαραγωγού, με ορθούς υδραυλούς (Αρχή)
 (Παπαγεωργίου, 1991)

2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

Με μία πιο γενική και απλή κατηγοριοποίηση των σύγχρονων ατμολεβήτων, θα μπορούσαμε να τους ταξινομήσουμε με βάση το νερό που είναι το εργαζόμενο μέσο, το οποίο βρίσκεται εσωτερικά ή εξωτερικά των αυλών. Έτσι οι ατμολέβητες χωρίζονται σε:

- α) υδραυλωτοί ατμολέβητες όπου το νερό βρίσκεται μέσα στους αυλούς.
- β) αεριαυλωτοί ατμολέβητες όπου το νερό βρίσκεται έξω από τους αυλούς.

Αν όμως εμβαθύνουμε πιο αναλυτικά στην ταξινόμηση των σύγχρονων ατμολεβήτων, τότε αυτοί κατηγοριοποιούνται με βάση:

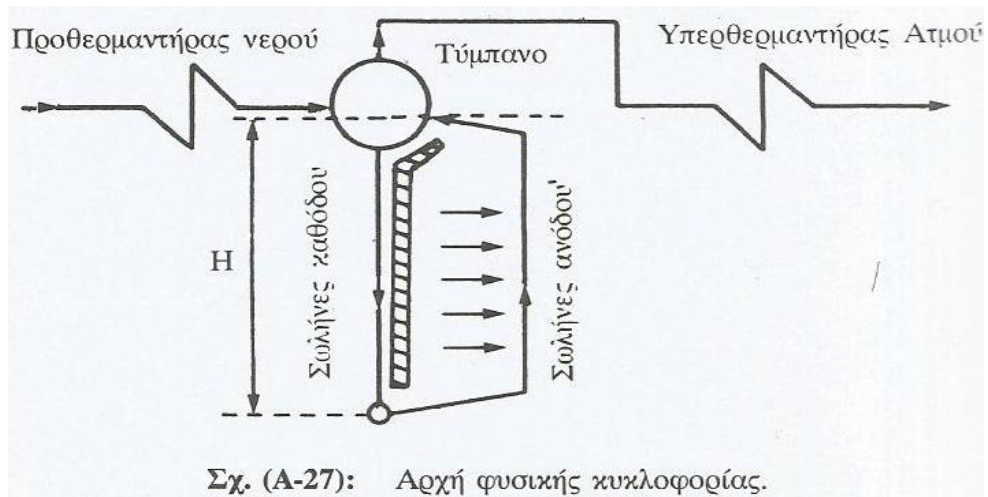
- α) Τον τρόπο κυκλοφορίας του νερού.
- β) Την γεωμετρική μορφή.
- γ) Το σύστημα καύσης.

Έτσι λοιπόν σύμφωνα με αυτά, οι σύγχρονοι ατμολέβητες κατατάσσονται σε:

- Ατμολέβητες φυσικής κυκλοφορίας.
- Ατμολέβητες τεχνητής κυκλοφορίας.
- Ατμολέβητες εξαναγκασμένης ροής.
- Ατμολέβητες με μία διαδρομή καυσαερίου.
- Ατμολέβητες με δύο διαδρομές καυσαερίου.
- Ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους στο πίσω ή μπροστινό μέρος του φλογοθαλάμου.
- Ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους σε δύο απέναντι πλευρές του φλογοθαλάμου.
- Ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους σε γωνιακή διάταξη.
- Ατμολέβητες με καυστήρες στην οροφή ή τον πυθμένα του φλογοθαλάμου.

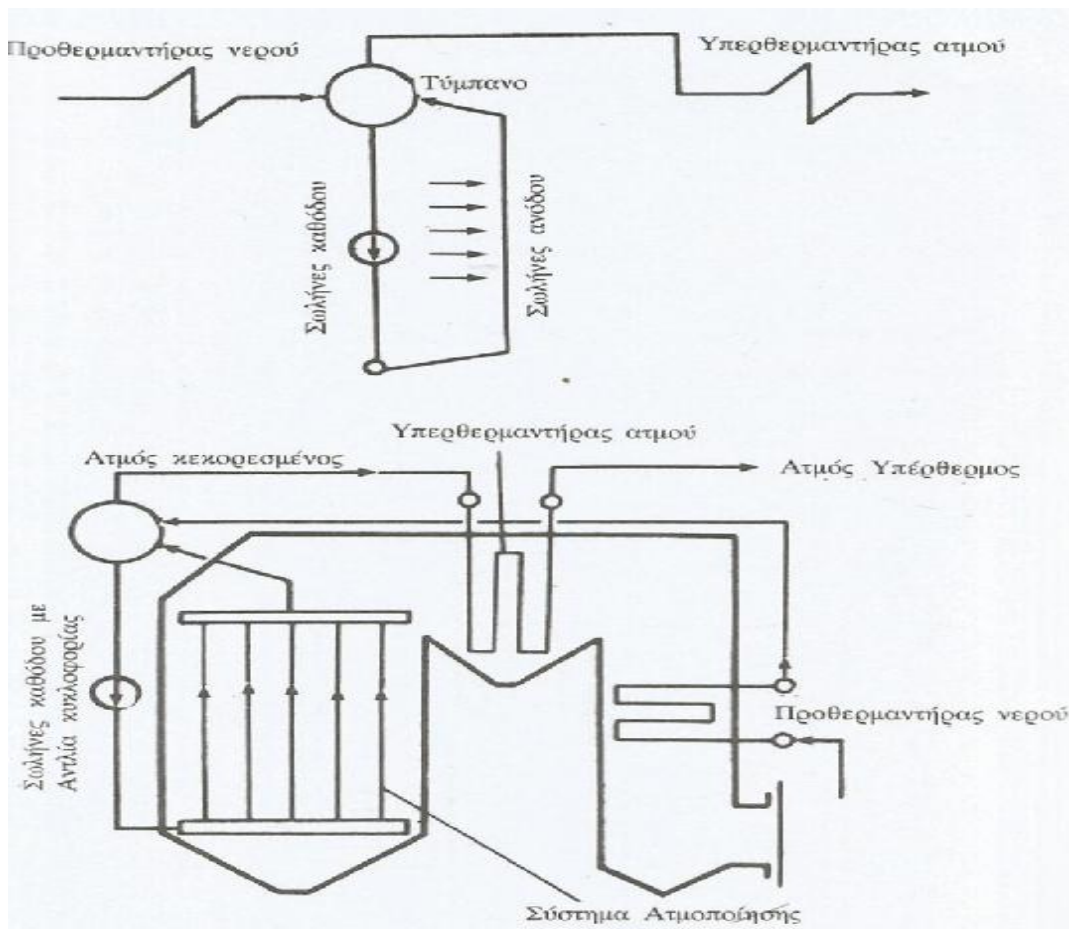
Στους ατμολέβητες φυσικής κυκλοφορίας συναντάμε ομαλή και συνεχή ροή του νερού εντός των αυλών, ενώ στους ατμολέβητες τεχνητής κυκλοφορίας έχουμε κίνηση του νερού με την βοήθεια των μηχανικών μέσων. Συναντάμε επίσης και τους ατμολέβητες εξαναγκασμένης ροής όπου σε αυτή τη περίπτωση έχουμε ένα συνδυασμό φυσικής και τεχνητής κυκλοφορίας του νερού. Καθώς λοιπόν το νερό ρέει με φυσική ροή προς το τύμπανο, στην ανακυκλοφορία χρησιμοποιείται αντλία (τεχνητή ροή) μέχρι την έξοδο.

Στο Σχ. 2.5 φαίνεται η αρχή της φυσικής κυκλοφορίας.



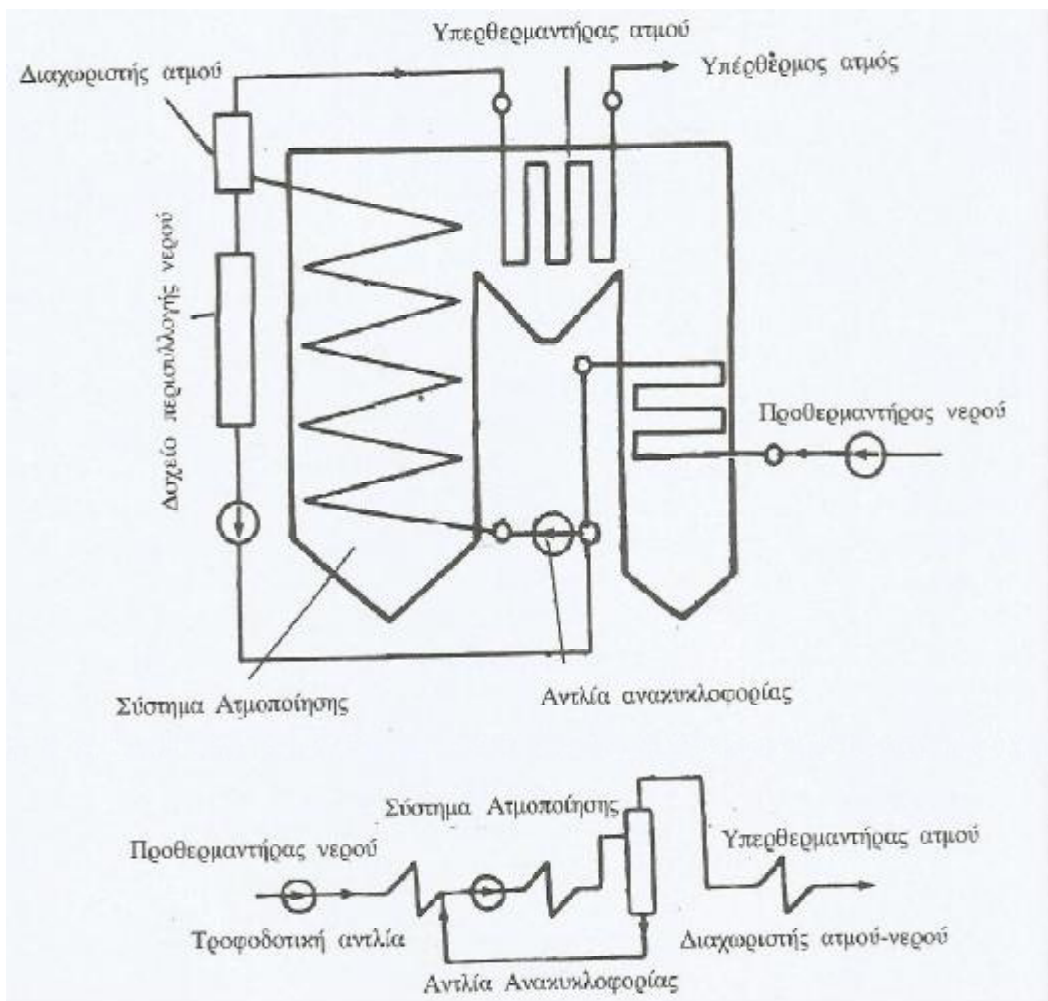
Σχήμα 2.5: Αρχή της φυσικής κυκλοφορίας. (Παπαγεωργίου, 1991)

Στο Σχ. 2.6 φαίνεται η διάταξη επιφανειών Ατμοπαραγωγού τεχνητής κυκλοφορίας.



Σχήμα 2.6: Διάταξη επιφανειών Ατμοπαραγωγού τεχνητής κυκλοφορίας. (Παπαγεωργίου, 1991)

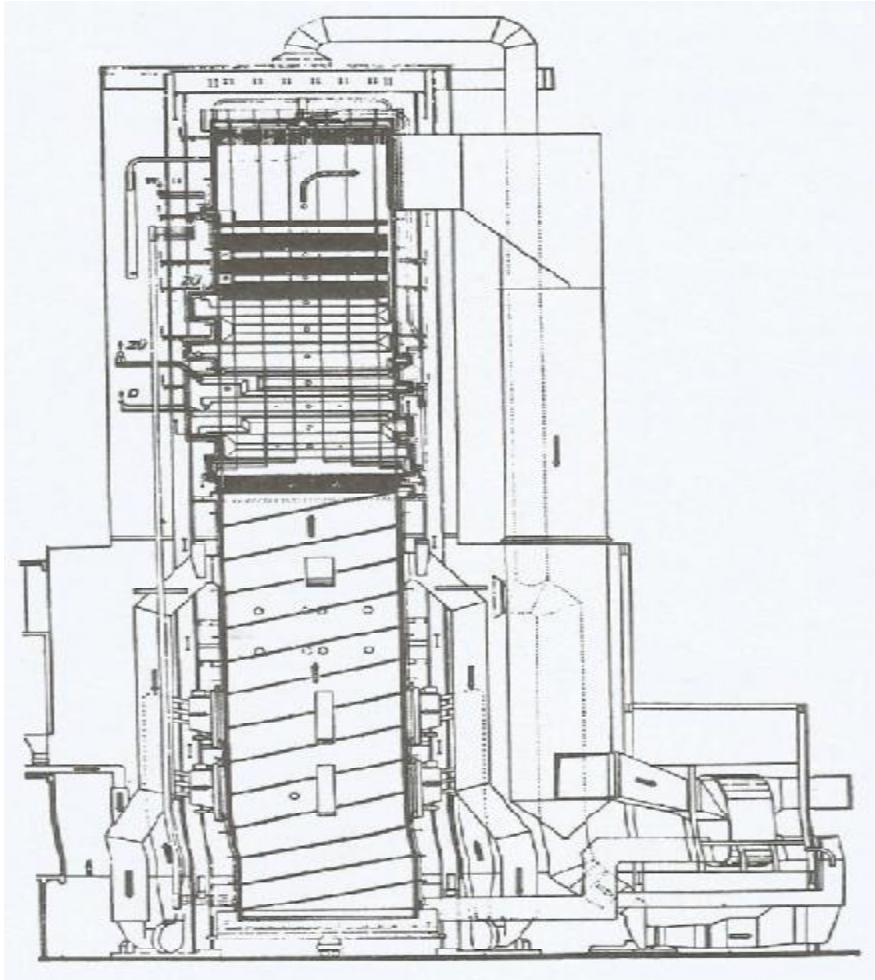
Στο Σχ. 2.7 φαίνεται η σχηματική διάταξη επιφανειών Ατμοπαραγωγού εξαναγκασμένης ροής (Sulzer)



Σχήμα 2.7: Σχηματική διάταξη επιφανειών Ατμοπαραγωγού εξαναγκασμένης ροής (Sulzer). (Παπαγεωργίου, 1991)

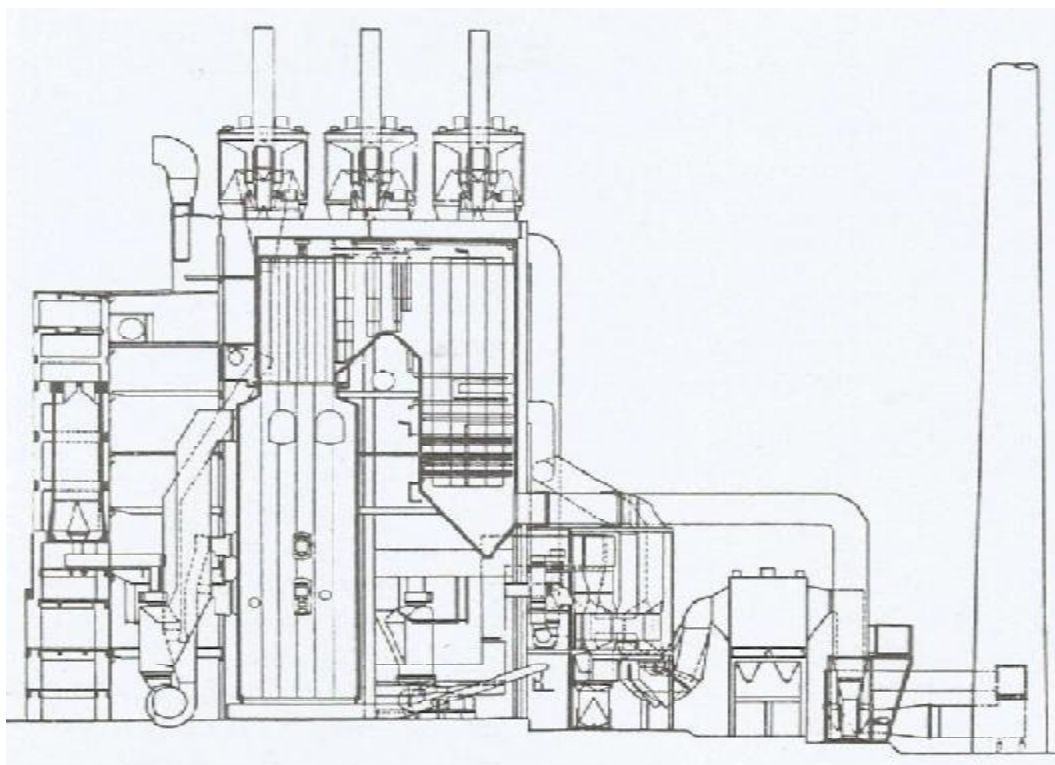
Στους ατμολέβητες με μία διαδρομή καυσαερίου, τα καπναέρια φεύγουν από το φλογοθάλαμο, περνάνε από τον υπερθερμαντήρα, το τύμπανο και τον προθερμαντήρα, και καταλήγουν στη καμινάδα. Ακόμη αξίζει να αναφέρουμε πως οι ατμολέβητες αυτής της κατηγορίας, έχουν μεγάλο ύψος και μικρή επιφάνεια βάσης. Ενώ οι ατμολέβητες με δύο διαδρομές, έχουν μικρό ύψος και μεγάλη επιφάνεια βάσης.

Στο Σχ. 2.8 φαίνεται ο Ατμοπαραγωγός τύπου Benson, μιας διαδρομής καυσαερίου.



Σχήμα 2.8: Ατμοπαραγωγός τύπου Benson, μιας διαδρομής καυσαερίου.
(Παπαγεωργίου, 1991)

Στο Σχ. 2.9 φαίνεται ο Ατμοπαραγωγός φυσικής κυκλοφορίας, δύο διαδρομών καυσαερίου.



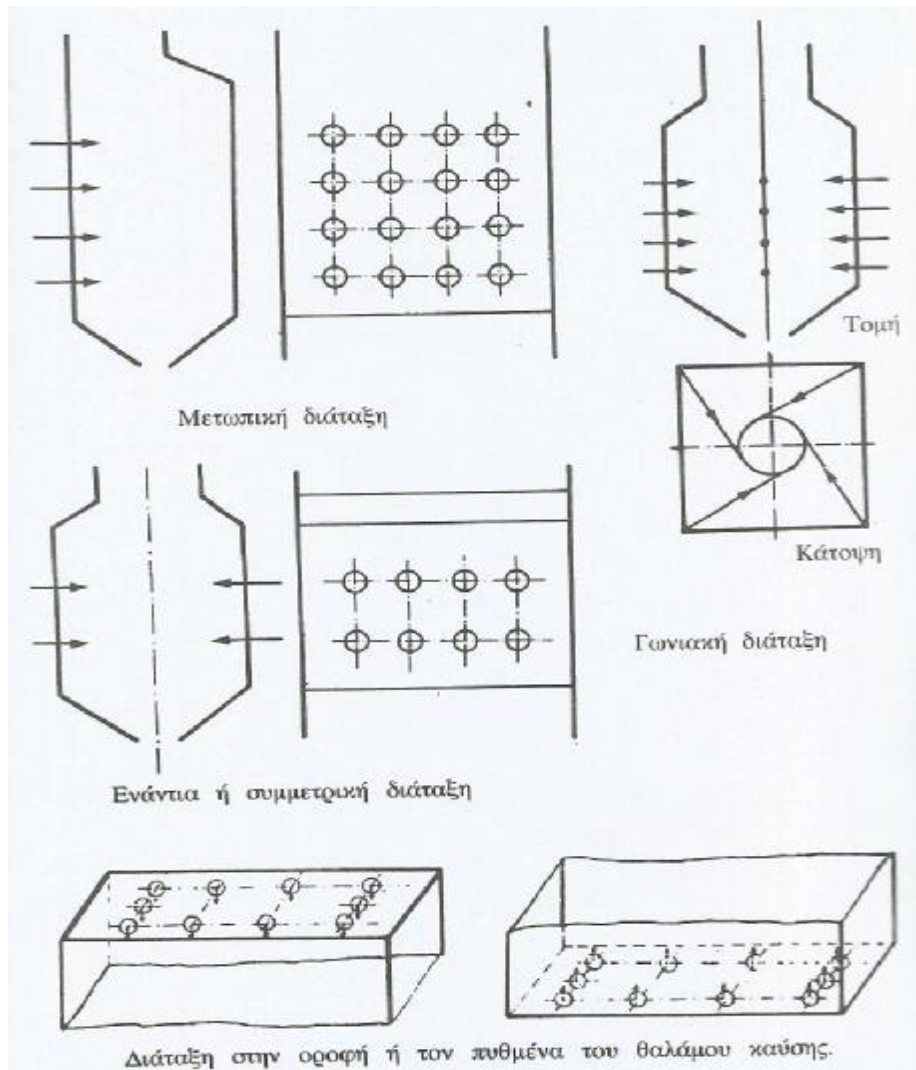
Σχήμα 2.9: Ατμοπαραγωγός φυσικής κυκλοφορίας, δύο διαδρομών καυσαερίου. (Παπαγεωργίου, 1991)

Στους ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους στο πίσω ή μπροστινό μέρος, η απόσταση της φλόγας που εξαρτάται από το ίδιο το καύσιμο, καθορίζει το βάθος του φλογοθαλάμου. Το ίδιο ισχύει και για τους ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους σε δύο απέναντι πλευρές του φλογοθαλάμου με τη μόνη διαφορά ότι μπορεί να είναι τοποθετημένοι και περισσότεροι σε αριθμό.

Στους ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους σε γωνιακή διάταξη, οι καυστήρες βρίσκονται σε κάθε γωνία του φλογοθαλάμου και τοποθετούνται σε σειρά.

Στους ατμολέβητες με καυστήρες εγκατεστημένους στην οροφή ή στον πυθμένα του φλογοθαλάμου, πρέπει να λειτουργούν όλοι οι καυστήρες ταυτόχρονα, αλλιώς δεν θα πετύχουμε τη σωστή παροχή θερμότητας στην επιφάνεια του φλογοθαλάμου.

Στο Σχ. 2.10 φαίνονται οι τυπικές διατάξεις καυστήρων.



Σχήμα 2.10: Τυπικές διατάξεις καυστήρων. (Παπαγεωργίου, 1991)

2.3 ΟΙ ΣΗΜΕΡΙΝΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΕΝΟΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

Ένας σύγχρονος ατμολέβητας θα πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις:

- Σωστή καύση.
- Μικρό ποσοστό οξείδωσης σε SO_2 και SO_3 .
- Σωστός σχεδιασμός του φλογοθαλάμου.

Για να πραγματοποιηθεί σωστά η καύση του καυσίμου, θα πρέπει να μην έχουμε ατελή καύση δηλαδή σχηματισμό CO (μονοξειδίου του άνθρακα), το

οποίο χωρίς να έχει καεί, απορρίπτεται προς την έξοδο της καπνοδόχου, με αποτέλεσμα να χάνονται ποσά θερμότητας. Έτσι λοιπόν θα πρέπει η καύση να γίνεται με όσο το δυνατό μεγαλύτερο ποσοστό CO₂ (διοξειδίου του άνθρακα). Αυτό επιτυγχάνεται με το να έχουμε μικρή περίσσεια αέρα καύσης.

Θα πρέπει να επιτυγχάνεται μικρό ποσοστό οξείδωσης σε SO₂ (διοξείδιο του θείου) και SO₃ (τριοξείδιο του θείου), ώστε να μην έχουμε απώλειες από σχηματισμό αιθάλης και σαν αποτέλεσμα να έχουμε μία κακή καύση.

Ο φλογοθάλαμος θα πρέπει να σχεδιαστεί ανάλογα με την απόσταση της φλόγας και την χρονική διάρκεια που χρειάζεται το καύσιμο για να καεί.

2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

Το υγρό καύσιμο μαζούτ, είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε στην μελέτη μας, ώστε να πραγματοποιηθεί η καύση στο χώρο της εστίας του λέβητα, για την παραγωγή του ατμού.

Το μαζούτ λοιπόν, κατατάσσεται στα προϊόντα που προκύπτουν από τα διυλιστήρια, κατά την επεξεργασία του αργού πετρελαίου. Συναντάμε λοιπόν πολλούς τύπους της κατηγορίας του μαζούτ ή βαρέως πετρελαίου, ανάλογα με το ιξώδες που υπάρχει κάθε φορά και γι' αυτόν τον λόγο τα είδη αυτά σύμφωνα με τον **κ. Γιαννόπουλο, 2011**, τα κατηγοριοποιούμε σε βαθμούς κατά Redwood ή Red.

Έτσι επιλέγουμε ως υγρό καύσιμο, το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ), **3500Red**, το οποίο θεωρείται ότι είναι πιο βαρύ στη κατηγορία αυτή σε σχέση με άλλες.

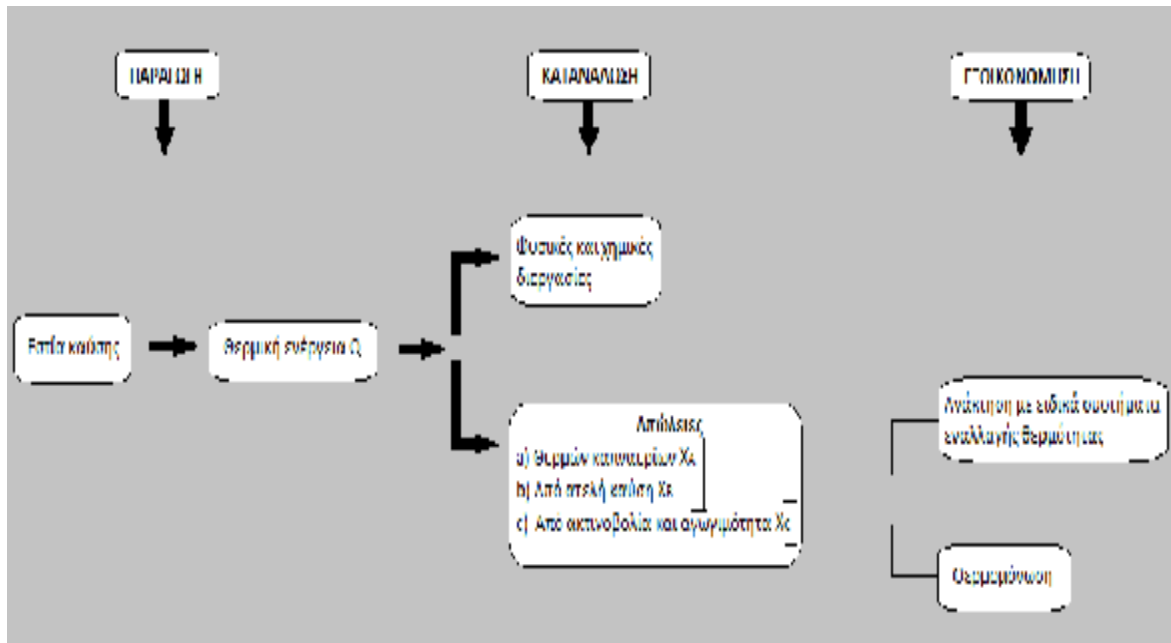
Η διαδικασία που ακολουθείται, ώστε να αξιοποιήσουμε επιτυχώς την θερμική ενέργεια στον ατμολέβητα, για να παραχθεί ο ατμός υψηλής πίεσης, αναλύεται ως εξής :

Αρχικά σε πρώτο στάδιο, για να πραγματοποιηθεί η σωστή καύση του μαζούτ, το προθερμαίνουμε σε κατάλληλη θερμοκρασία, ώστε αυτό να έχει καλή κυκλοφορία και να διασκορπιστεί με την βοήθεια ψεκασμού, για να επιτύχουμε πιο γρήγορα την εξάτμιση του. Έτσι σύμφωνα με τον **κ. Διαβάτη, 2011**, η φλόγα δημιουργείται λόγω των σταγονιδίων κατά την διάρκεια του ψεκασμού και τα σταγονίδια αυτά εξατμίζονται κατά το ξεκίνημα της καύσης.

Στη συνέχεια δημιουργούνται τα καπναέρια, τα οποία μεταφέρουν την θερμότητα αυτή στα διάφορα τμήματα του ατμολέβητα. Με αυτό τον τρόπο,

παράγεται ο ατμός στον αμιοθάλαμο του τύμπανου και ύστερα ακολουθεί η υπερθέρμανση αυτού, με την βοήθεια του υπερθερμαντήρα.

Στο Σχ. 2.11 φαίνεται η διαδικασία αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την καύση του μαζούτ.



Σχήμα 2.11: Ισοζύγιο θερμότητας (Σαββάκης, 2002)

Οι απώλειες μέσα στον αμιολέβητα που αναφέρονται στο σχήμα αυτό, περιγράφονται στην υποενότητα 1.5.1.

2.5 ΑΠΑΓΩΓΗ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η καπνοδόχος είναι το σημείο του αμιολέβητα όπου εκεί αποβάλλονται τα θερμά καπναέρια. Αυτή η διαδικασία γίνεται με δύο τρόπους:

- Φυσικός ελκυσμός.
- Τεχνητός ελκυσμός.

Ο φυσικός ελκυσμός δημιουργείται λόγω διαφοράς πίεσης μεταξύ της αμιοσφαιρικής πίεσης και της πίεσης της στήλης των θερμών καπναερίων. Παρατηρείται λοιπόν, διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των θερμών καπναερίων και του ψυχρού αέρα στο περιβάλλον.

Ο τεχνητός ελκυσμός οφείλεται στην υποβοήθηση του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα στη βάση της καπνοδόχου. Έτσι με αυτό τον τρόπο καταφέρνουμε να αυξήσουμε την παροχή των καπναερίων που εξέρχονται στην καπνοδόχο και επίσης επιτυγχάνουμε κατά την έξοδο αυτή, τα καπναέρια να έχουν υψηλή ταχύτητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΩΝ

3.1 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΟΙ

Οι ατμοστρόβιλοι κατατάσσονται στην κατηγορία των κινητήριων στροβιλομηχανών. Γενικότερα σύμφωνα με τον **κ. Γιανναδακη, 2009 – 2010**, οι στροβιλομηχανές είναι οι μηχανές στις οποίες πραγματοποιείται μεταφορά ενέργειας μεταξύ ενός περιστρεφόμενου άξονα και ενός ρευστού (υγρό ή αέριο) και χαρακτηρίζονται ως κινητήριες μηχανές, διότι έχουμε μεταφορά ενέργειας από το ρευστό στον περιστρεφόμενο άξονα της μηχανής.

Στους ατμοστρόβιλους το ρευστό που χρησιμοποιείται για την μεταφορά ενέργειας, είναι ο ατμός όπου ένα μέρος της θερμικής του ενέργειας μεταφέρεται από αυτόν στο περιστρεφόμενο άξονα της μηχανής και στη συνέχεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Έτσι ο ατμός χάνει μεγάλο ποσό της θερμικής του ενέργειας και γι 'αυτό το λόγο ελαττώνεται η θερμοκρασία και η πίεση του.

Σε έναν ατμοστρόβιλο συναντάμε συχνά τρία τμήματα:

- α) Τμήμα υψηλής πίεσης
- β) Τμήμα μέσης πίεσης
- γ) Τμήμα χαμηλής πίεσης

Το πρώτο τμήμα, χαρακτηρίζεται ως το τμήμα υψηλής πίεσης, το οποίο δέχεται τον ατμό που είναι σε κατάσταση υψηλής πίεσης. Στη συνέχεια ο ατμός επειδή χάνει την θερμική του ενέργεια, αρχίζει να εκτονώνεται και καταλήγει

στο δεύτερο τμήμα που είναι το τμήμα μέσης πίεσης. Τέλος καταλήγουμε στο τελικό τμήμα που είναι το τμήμα χαμηλής πίεσης, όπου εκεί ο ατμός εκτονώνεται πλήρως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός θα περιλαμβάνει ατμολέβητα υψηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού με καύσιμο βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ) και ατμοστρόβιλο **8 MW** με αντίθλιψη **4 atü**. Θα γίνεται χρήση της θερμικής ενέργειας **50 GJ/h** στην παραγωγική διαδικασία. Ο στρόβιλος χρειάζεται ποσό ατμού D_1 για να δουλέψει, ενώ η παραγωγική διαδικασία ποσό ατμού D_2 . Επομένως ο ατμός μετά τον στρόβιλο θα οδηγείται στην παραγωγική διαδικασία του εργοστασίου. Εάν δεν επαρκεί η θερμική ενέργεια του ατμού αυτού ($D_1 < D_2$), θα προστίθεται ατμός ίδιας πίεσης **4 atü** που θα δημιουργείται από τον ατμό υψηλής πίεσης με μειωτή πίεσης και ψύκτη ατμού. Εάν περισσεύει η θερμική ενέργεια του ατμού, ($D_1 > D_2$), τότε το επιπλέον ποσό του ατμού θα οδηγείται σε συμπυκνωτή.

Για να γίνει ο υπολογισμός της εγκατάστασης του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού, θα ληφθούν τα εξής δεδομένα :

Το ποσοστό σε CO_2 (Διοξείδιο του άνθρακα) $k = 13 \%$

Το ποσοστό σε CO (Μονοξείδιο του άνθρακα) $p = 0,3 \%$

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης ατμοστροβίλου $\eta_i = 88 \%$

Το ύψος καπνοδόχου $h = 120 \text{ m}$

Η ταχύτητα καπναερίων στο στόμιο εξόδου της καπνοδόχου $u = 14 \text{ m/s}$

Η διάμετρος καπνοδόχου $d = \text{σταθερό}$

Τα ζητούμενα της μελέτης αφορούν :

- 1) Την επιλογή της κατάλληλης πίεσης και θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού
- 2) Τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου
- 3) Τον υπολογισμό της συνολικής ατμοπαραγωγής
- 4) Τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης και τα μεγέθη των εσωτερικών στοιχείων του λέβητα
- 5) Τον υπολογισμό της διαμέτρου της καπνοδόχου

- 6) Τον υπολογισμό της ισχύος του ανεμιστήρα καπναερίων
 7) Τον υπολογισμό του τυμπάνου και το πάχος ελάσματος αυτού.

Επίσης δίνονται τα εξής :

Ο Βαθμός απόδοσης του ατμολέβητα : $\eta = 85 \%$

Ο συντελεστής ακτινοβολίας : $C = 3,6 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{°K})^4$

Η Μέση ειδική θερμότητα των καπναερίων :

α) Εντός του φλογοθαλάμου και του αρχικού τμήματος του ατμολέβητα :

$$C_{pm} = 0,37 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{°C}$$

β) Εντός του υπερθερμαντήρα ατμού :

$$C_{pm} = 0,36 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{°C}$$

γ) Εντός του τελικού τμήματος του ατμολέβητα :

$$C_{pm} = 0,35 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{°C}$$

δ) Εντός του προθερμαντήρα νερού :

$$C_{pm} = 0,34 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{°C}$$

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_l = 20 \text{ °C}$

Η ειδική θερμότητα πετρελαίου (μαζούτ 3500 °Red.):

$$C_p = 0,40 \text{ Kcal/Kg} \cdot \text{°C}$$

Η ειδική φόρτιση ανά μονάδα όγκου : $q_f = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Kcal/m}^3 \cdot \text{h}$

Η ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας : $q_F = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$

Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας :

α) Για το αρχικό τμήμα :

$$K = 32 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

β) Για τον υπερθερμαντήρα ατμού :

$$K = 25 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

γ) Για το τελικό τμήμα :

$$K = 30 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

δ) Για το τον προθερμαντήρα νερού:

$$K = 18 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

$\gamma_l =$ ειδικό βάρος αέρα με υγρασία 1% : $\gamma_l = 1,28 \text{ kp/Nm}^3$ σε 0 °C ,
760 Torr

$\gamma_R =$ ειδικό βάρος καπναερίων : $\gamma_R = 1,34 \text{ kp/Nm}^3$ σε 0 °C , **760 Torr**

Απώλειες πίεσης σε όλη τη διαδρομή των καπναερίων :

$$P_1 + P_2 = 1200 \text{ Pa}$$

Προθέρμανση μαζούτ : $T_B = 120 \text{ °C}$

Προθέρμανση νερού με τον Προθερμαντήρα : $T_0 = 176 \text{ }^\circ\text{C}$

4.1 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

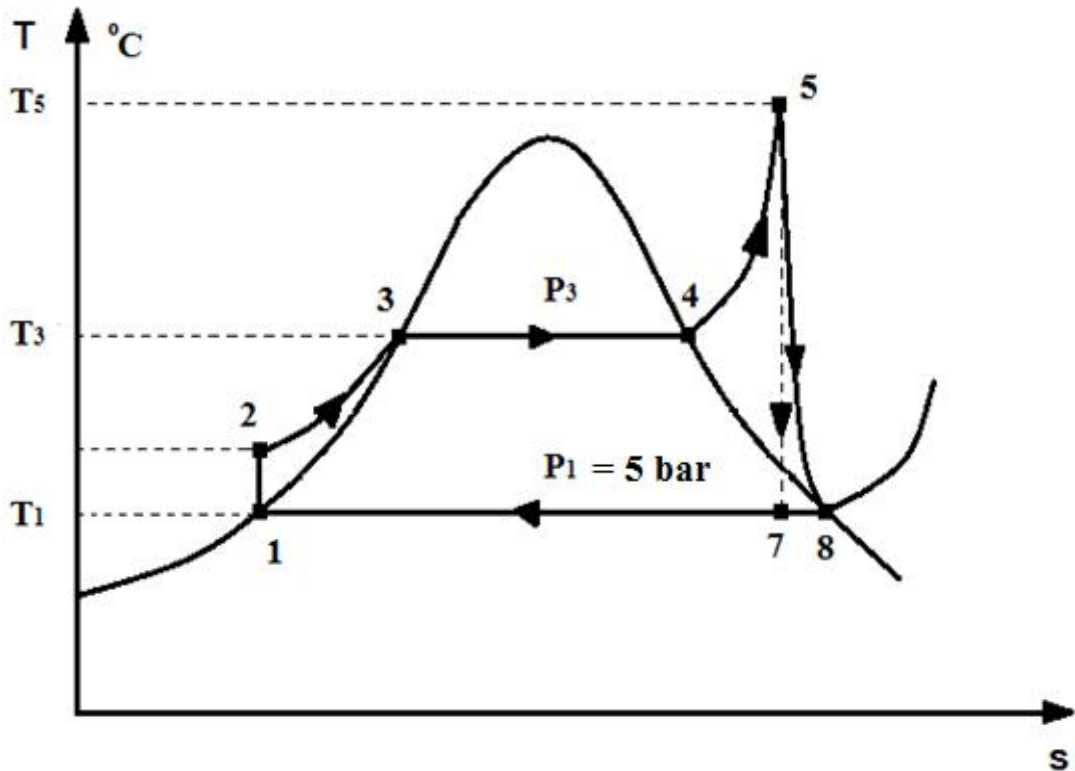
Η σύσταση του πετρελαίου διαφέρει ανάλογα με την περιοχή από την οποία προέρχεται. Για τους παρακάτω υπολογισμούς θα χρησιμοποιήσουμε βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ 3500 °Red.) με την εξής σύσταση όπως φαίνεται στον Πιν. 4.1:

Πίνακας 4.1: Η χημική σύσταση του μαζούτ (Γιαννόπουλος, 2011)

α/α	Χημικά στοιχεία	Ποσότητες
1	C (Άνθρακας)	82,82 %
2	H (Υδρογόνο)	10,83 %
3	O (Οξυγόνο)	0,37 %
4	N (Άζωτο)	0,18 %
5	S (Θείο)	3,90 %
6	A (Τέφρα)	0,92 %
7	W (Υγρασία)	0,98 %
8	ΣΥΝΟΛΟ	100 %

4.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ RANKINE

Στο Σχ. 4.1 φαίνεται ο θερμοδυναμικός κύκλος Rankine, στον οποίο έχουμε τοποθετήσει τα σημεία και τα μεγέθη των θερμοκρασιών και πιέσεων που χρειάζονται για να βρούμε τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη. Να επισημάνουμε ότι, επειδή ο ατμός D_2 μετά τον στρόβιλο επιθυμούμε να τροφοδοτεί την παραγωγική διαδικασία, θα πρέπει στο σχήμα αυτό, το σημείο 10 να βρίσκεται κοντά στην γραμμή κορεσμού. Έτσι γίνεται καλύτερη εναλλαγή της θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή ο ατμός χαρακτηρίζεται ως κορεσμένος ατμός. Άρα θεωρούμε ότι το **σημείο 10 συμπίπτει με το σημείο 8**.



Σχήμα 4.1: $T-s$ διάγραμμα νερού – ατμού

Για να μπορέσουμε να επιλέξουμε την κατάλληλη θερμοκρασία και πίεση στο σημείο 5 του υπέρθερμου ατμού, θα εφαρμόσουμε αρχικά την εξίσωση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης η_i μεταξύ ιδανικού και πραγματικού αμοστροβίλου. Έχοντας ως δεδομένο ότι ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης $\eta_i = 88\%$, βρίσκουμε την ενθαλπία h_8 (για το σημείο 8) που έχουμε κορεσμένο ατμό από τους πίνακες κορεσμένου νερού / ατμού στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, για πίεση $P_8 = 5 \text{ bar}$, $h_8 = 2748,11 \text{ KJ/Kg}$. Επομένως:

$$\eta_i = \frac{h_5 - h_8}{h_5 - h_7} \Rightarrow \eta_i \cdot (h_5 - h_7) = (h_5 - h_8) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = h_8 + \eta_i \cdot h_5 - \eta_i \cdot h_7 \Rightarrow h_5 \cdot (1 - \eta_i) = h_8 - \eta_i \cdot h_7 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = \frac{h_8 - \eta_i \cdot h_7}{(1 - \eta_i)} \quad (2.1)$$

Αντικαθιστώ τις τιμές στην παραπάνω σχέση:

$$h_5 = \frac{2748,11 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 0,88 \cdot h_7}{(1 - 0,88)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 22900,92 - 7,33 \cdot h_7 \quad (2.2)$$

Προέκυψε λοιπόν μια εξίσωση με δύο αγνώστους. Επίσης γνωρίζουμε σύμφωνα με το Σχ. 4.1 ότι μεταξύ των σημείων 5 και 7 έχουμε ισεντροπική μεταβολή. Δηλαδή ισχύει :

$$s_5 = s_7 \quad (2.3)$$

Έτσι λοιπόν θα εφαρμόσουμε την σχέση του βαθμού ξηρότητας x_7 για το σημείο 7 στο οποίο ο ατμός χαρακτηρίζεται ως υγρός ατμός:

$$x_7 = \frac{s_7 - s_1}{s_8 - s_1} \quad (2.4)$$

Από τους πίνακες κορεσμένου νερού / ατμού στο βιβλίο του κ. **Γιαννόπουλου, 2011**, βρίσκουμε ότι η εντροπία s_1 (στο σημείο 1) θα είναι: $s_1 = 1,8606 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$ και η εντροπία s_8 (στο σημείο 8) θα είναι: $s_8 = 6,8206 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$ και έτσι αντικαθιστούμε:

$$x_7 = \frac{s_7 - 1,8606 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}}{6,8206 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} - 1,8606 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}} \Rightarrow x_7 = \frac{s_7 - 1,8606}{4,96} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_7 = \frac{s_5 - 1,8606}{4,96} \Rightarrow x_7 = \frac{s_5}{4,96} - 0,3751 \quad (2.5)$$

Προέκυψε και πάλι μία εξίσωση με δύο αγνώστους. Τώρα λοιπόν θα εφαρμόσουμε την σχέση που δίνει την ενθαλπία για το σημείο 7 :

$$h_7 = h_1 + x_7 \cdot (h_8 - h_1) \quad (2.6)$$

Θα αντικαταστήσουμε την σχέση 2.5 στην σχέση 2.6 και έτσι θα προκύψει ότι :

$$\begin{aligned} h_7 &= h_1 + \left(\frac{s_5}{4,96} - 0,3751 \right) \cdot (h_8 - h_1) \Rightarrow \\ \Rightarrow h_7 &= 640,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + \left(\frac{s_5}{4,96} - 0,3751 \right) \cdot \left(2748,11 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 640,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow h_7 &= 640,18 + \left(\frac{s_5}{4,96} - 0,3751 \right) \cdot (2107,93) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow h_7 = 640,18 + 2107,93 \cdot \frac{s_5}{4,96} - 0,3751 \cdot 2107,93 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_7 = 424,98 \cdot s_5 - 150,50 \quad (2.7)$$

Θα αντικαταστήσουμε την σχέση 2.7 στην σχέση 2.2 και έτσι θα προκύψει :

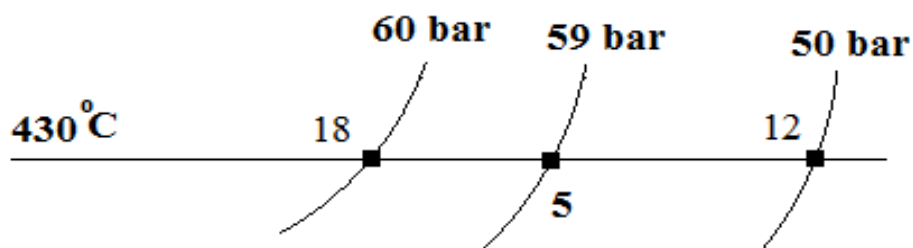
$$h_5 = 22900,92 - 7,33 \cdot (424,98 \cdot s_5 - 150,50) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 22900,92 - 3115,10 \cdot s_5 + 1103,16 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 24004,08 - 3115,10 \cdot s_5 \quad (2.8)$$

Επομένως προκύπτει μία σχέση, η οποία περιλαμβάνει την ενθαλπία και την εντροπία στο σημείο 5. Έτσι η ενθαλπία για το σημείο 5 που θα βρούμε, θα την επαληθεύσουμε με αυτήν, για θερμοκρασία **430 °C** και πίεση **59 bar**, (τα οποία τα έχουμε επιλέξει για το σημείο αυτό) και δίνεται από τους πίνακες υπέρθερμου ατμού, στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, με τίτλο "Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί".

Όμως επειδή τα στοιχεία αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται ως έχουν σε αυτόν τον πίνακα, γι' αυτό θα εφαρμόσουμε την πολλαπλή γραμμική παρεμβολή. Έτσι θα βρούμε την σωστή τιμή της εντροπίας και της ενθαλπίας για το σημείο 5, για θερμοκρασία **430 °C** και πίεση **59 bar**. Στο Σχ. 4.2 φαίνεται ότι για την θερμοκρασία **430 °C**, επιθυμούμε την πίεση ίση με **59 bar**. Για να την βρούμε όμως αυτήν την τιμή, ψάχνουμε τα (γειτονικά) στοιχεία της πίεσης αυτής και βρίσκουμε ότι είναι μεταξύ **50** και **60 bar**.



Σχήμα 4.2: Γραμμική παρεμβολή

Επομένως θα πραγματοποιήσουμε γραμμική παρεμβολή για το σημείο 5 για θερμοκρασία **430 °C** και πίεση **59 bar**. Συνεπώς για την ενθαλπία h_5 θα έχουμε :

$$h_5 = h_{12} - \frac{h_{12} - h_{18}}{P_{18} - P_{12}} \cdot (P_5 - P_{12}) \quad (2.9)$$

$$\Rightarrow h_5 = 3269,37 \frac{KJ}{Kg} - \frac{3269,37 \frac{KJ}{Kg} - 3253,66 \frac{KJ}{Kg}}{60bar - 50bar} \cdot (59bar - 50bar) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 3269,37 - 14,139 \Rightarrow h_5 = 3255,23 KJ/Kg$$

Αντίστοιχα για την εντροπία s_5 θα έχουμε :

$$s_5 = s_{12} - \frac{s_{12} - s_{18}}{P_{18} - P_{12}} \cdot (P_5 - P_{12}) \quad (2.10)$$

$$\Rightarrow s_5 = 6,7539 \frac{KJ}{Kg \cdot K} - \frac{6,7539 \frac{KJ}{Kg \cdot K} - 6,6528 \frac{KJ}{Kg \cdot K}}{60bar - 50bar} \cdot (59bar - 50bar) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_5 = 6,7539 - 0,09099 \Rightarrow s_5 = 6,6629 KJ/Kg \cdot K$$

Αντίστοιχα για τον ειδικό όγκο θα έχουμε \hat{v}_5 θα έχουμε :

$$\hat{v}_5 = \hat{v}_{12} - \frac{\hat{v}_{12} - \hat{v}_{18}}{P_{18} - P_{12}} \cdot (P_5 - P_{12}) \quad (2.11)$$

$$\Rightarrow \hat{v}_5 = 61,1641 \frac{dcm^3}{Kg} - \frac{61,164 \frac{dcm^3}{Kg} - 50,306 \frac{dcm^3}{Kg}}{60bar - 50bar} \cdot (59bar - 50bar) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \hat{v}_5 = 61,1641 - 9,7722 \Rightarrow \hat{v}_5 = 51,3919 KJ/Kg \cdot K$$

Αφού λοιπόν βρήκαμε τα στοιχεία για το σημείο 5, θα υπολογίσουμε την σχέση 2.8 για να συγκρίνουμε το αποτέλεσμα αυτό, με την ενθαλπία που υπολογίσαμε για το σημείο 5. Επομένως :

$$h_5 = 24004,08 - 3115,10 \cdot s_5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 24004,08 - 3115,10 \cdot 6,6629 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 24004,08 - 20755,60$$

$$\Rightarrow h_5 = 3248,48 KJ/Kg \approx 3255,23 KJ/Kg$$

Επομένως η ενθαλπία που υπολογίσαμε στη σχέση 2.8, συμφωνεί με την τιμή στην σχέση 2.9. Επομένως για το σημείο 5, η θερμοκρασία θα είναι $T_5 = 430 \text{ }^\circ\text{C}$ και η πίεση $P_5 = 59 \text{ bar}$. Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα όλων των σημείων του κύκλου Rankine.

Σημείο 1

Στον Πιν.4.2 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 1, οι οποίες έχουν βρεθεί από τους πίνακες κορεσμένου νερού / ατμού στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, με τίτλο "Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί".

Πίνακας 4.2: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 1

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_1	5 bar
2	T_1	151,836 °C
3	\hat{v}_1	0,00109256 m³/kg = 1,092 dcm³/kg
4	h_1	640,185 KJ/Kg
5	s_1	1,8606 KJ/Kg · °K
6	x_1	0

Σημείο 2

Σε αυτό το σημείο παρατηρούμε ότι έχουμε μεγάλη αύξηση της πίεσης του νερού (συμπύεση) λόγω της αντλίας. Το νερό όμως επειδή είναι ασυμπίεστο (σταθερή πυκνότητα), δεν μεταβάλλεται αισθητά ούτε ο ειδικός όγκος, ούτε η θερμοκρασία του. Επομένως θα θεωρήσουμε ότι ο ειδικός όγκος \hat{v}_1 στο σημείο 1 είναι ίσος με τον ειδικό όγκο \hat{v}_2 στο σημείο 2. Δηλαδή θα ισχύει :

$$\hat{v}_1 = \hat{v}_2 \quad (2.12)$$

Επίσης η μεταβολή από το σημείο 1 στο σημείο 2 θα θεωρηθεί ισεντροπική διότι τα σημεία αυτά βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Επομένως:

$$s_1 = s_2 \quad (2.13)$$

Για να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία T_2 στο σημείο 2 που βρισκόμαστε θα εφαρμόσουμε αρχικά τη παρακάτω σχέση :

$$\Delta h_{1 \rightarrow 2} = c_p \cdot \Delta T_{1 \rightarrow 2} = \hat{v}_1 \cdot \Delta P_{1 \rightarrow 2} \quad \Rightarrow \quad \Delta T_{1 \rightarrow 2} = \frac{\hat{v}_1 \cdot \Delta P_{1 \rightarrow 2}}{c_p} \quad (2.14)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{1 \rightarrow 2} = \left(\frac{1,092 \text{ dcm}^3/\text{Kg} \cdot (59-5) \text{ bar} \cdot 10^{-1}}{4,187 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \Rightarrow \Delta T_{1 \rightarrow 2} = \mathbf{1,41} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Σημείωση : Ο συντελεστής 10^{-1} χρησιμοποιείται για την μετατροπή των μονάδων.

Επομένως αφού βρήκαμε τη διαφορά θερμοκρασίας από το σημείο 1 στο σημείο 2, μπορούμε να βρούμε τη θερμοκρασία του σημείου 2 σύμφωνα με το παρακάτω :

$$T_2 = T_1 + \Delta T \quad (2.15)$$

$$\Rightarrow T_2 = \mathbf{151,836} + \mathbf{1,41} \quad \Rightarrow \quad T_2 = \mathbf{153} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Για να υπολογίσουμε την ειδική ενθαλπία h_2 στο σημείο 2 που βρισκόμαστε, θα εφαρμόσουμε τη γνωστή σχέση :

$$h_2 = h_1 + \hat{v}_1 \cdot \Delta P \quad (2.16)$$

$$\Rightarrow h_2 = \mathbf{640,185} \text{ KJ/Kg} + \mathbf{1,092} \text{ dcm}^3/\text{Kg} \cdot (\mathbf{59} - \mathbf{5}) \text{ bar} \cdot \mathbf{10}^{-1} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{h_2 = 646,082} \text{ KJ/Kg}$$

Στον Πιν.4.3 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 2.

Πίνακας 4.3: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 2

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_2	59 bar
2	T_2	153 °C
3	\hat{v}_2	0,00109256 m³/kg = 1,092 dcm³/kg
4	h_2	646,082 KJ/Kg
5	s_2	1,8606 KJ/Kg · °K
6	x_2	0

Σημείο 3

Στο σημείο αυτό η πίεση είναι η ίδια με τη πίεση στο σημείο 2 ενώ η θερμοκρασία έχει αυξηθεί. Με βάση αυτών των 2 θερμοδυναμικών μεγεθών, θα λάβουμε τις υπόλοιπες θερμοδυναμικές μεταβλητές από τους πίνακες κορεσμένου νερού / ατμού στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, με τίτλο "Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί".

Στον Πιν.4.4 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 3.

Πίνακας 4.4: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 3

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_3	59 bar
2	T_3	274,492 °C
3	\hat{v}_3	0,00131601 m³/kg = 1,316 dcm³/kg
4	h_3	1208,09 KJ/Kg
5	s_3	3,0174 KJ/Kg · °K
6	x_3	0

Σημείο 4

Στο σημείο αυτό η πίεση είναι η ίδια με τη πίεση στο σημείο 3 και η θερμοκρασία έχει παραμείνει σταθερή λόγω αλλαγής της φάσης του νερού σε ατμό. Με βάση αυτών των 2 θερμοδυναμικών μεγεθών, θα λάβουμε τις υπόλοιπες θερμοδυναμικές μεταβλητές από τους πίνακες κορεσμένου νερού / ατμού στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, με τίτλο "Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί".

Στον Πιν.4.5 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 4.

Πίνακας 4.5: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 4

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_4	59 bar
2	T_4	274,492 °C
3	\hat{v}_4	0,0330458 m³/kg = 33,0458 dcm³/kg
4	h_4	2785,64 KJ/Kg
5	s_4	5,8980 KJ/Kg · °K
6	x_4	1

Σημείο 5

Τα στοιχεία για το σημείο 5 τα υπολογίσαμε στην αρχή της ενότητας 4.2. Στον Πιν.4.6 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 5.

Πίνακας 4.6: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 5

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_5	59 bar
2	T_5	430 °C
3	\hat{v}_5	$0,0513919 \frac{m^3}{kg} =$ $51,3919 dcm^3/kg$
4	h_5	3255,23 KJ/Kg
5	s_5	6,6629 KJ/Kg · °K
6	x_5	1

Σημείο 8 (Σημείο κορεσμού)

Στο σημείο αυτό η πίεση και η θερμοκρασία είναι η ίδια με τη πίεση και τη θερμοκρασία στο σημείο 1.

$$T_8 = T_1 \quad (2.17)$$

$$P_8 = P_1 \quad (2.18)$$

Με βάση αυτών των 2 θερμοδυναμικών μεγεθών, θα λάβουμε τις υπόλοιπες θερμοδυναμικές μεταβλητές από τους πίνακες κορεσμένου νερού / ατμού στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, με τίτλο "Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί".

Στον Πιν.4.7 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 8.

Πίνακας 4.7: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 8

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_8	5 bar
2	T_8	151,836 °C
3	\hat{v}_8	$0,374804 m^3/kg$ $= 374,804 dcm^3/kg$
4	h_8	2748,11 KJ/Kg
5	s_8	6,8206 KJ/Kg · °K
6	x_8	1

Σημείο 7 (ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ)

Στο σημείο αυτό η πίεση και η θερμοκρασία στο σημείο 7 είναι η ίδια με τη πίεση και τη θερμοκρασία στο σημείο 1.

$$T_7 = T_1 \quad (2.19)$$

$$P_7 = P_1 \quad (2.20)$$

Επίσης η μεταβολή από το σημείο 5 στο σημείο 7 θεωρείται ισεντροπική. Επομένως :

$$s_5 = s_7 \quad (2.21)$$

Για να υπολογίσουμε τη ενθαλπία h_7 και του ειδικού όγκου \hat{v}_7 στο σημείο 7 που βρισκόμαστε, θα πρέπει αρχικά να υπολογίσουμε την ξηρότητα x_7 στο σημείο αυτό, διαμέσου του λόγου της διαφοράς εντροπίας, μεταξύ των σημείων 7 και 1 και των σημείων 8 και 1. Επομένως :

$$x_7 = \frac{s_7 - s_1}{s_8 - s_1} \quad (2.22)$$

$$\Rightarrow x_7 = \frac{6,6629 - 1,8606}{6,8206 - 1,8606} \Rightarrow x_7 = \mathbf{0,97}$$

Άρα αφού βρήκαμε τη ξηρότητα x_7 στο σημείο αυτό, μπορούμε τώρα να βρούμε την ενθαλπία h_7 σύμφωνα με τα παρακάτω :

$$h_7 = h_1 + x_7 \cdot (h_8 - h_1) \quad (2.23)$$

$$\Rightarrow h_7 = \mathbf{640,185 + 0,97 \cdot (2748,11 - 640,18)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{h_7 = 2684,88 \text{ KJ/Kg}}$$

Αντίστοιχα για τον ειδικό όγκο \hat{v}_7 εφαρμόζουμε το παρακάτω :

$$\hat{v}_7 = \hat{v}_1 + x_7 \cdot (\hat{v}_8 - \hat{v}_1) \quad (2.24)$$

$$\Rightarrow \hat{v}_7 = \mathbf{1,092 + 0,97 \cdot (374,80 - 1,092)} \Rightarrow$$

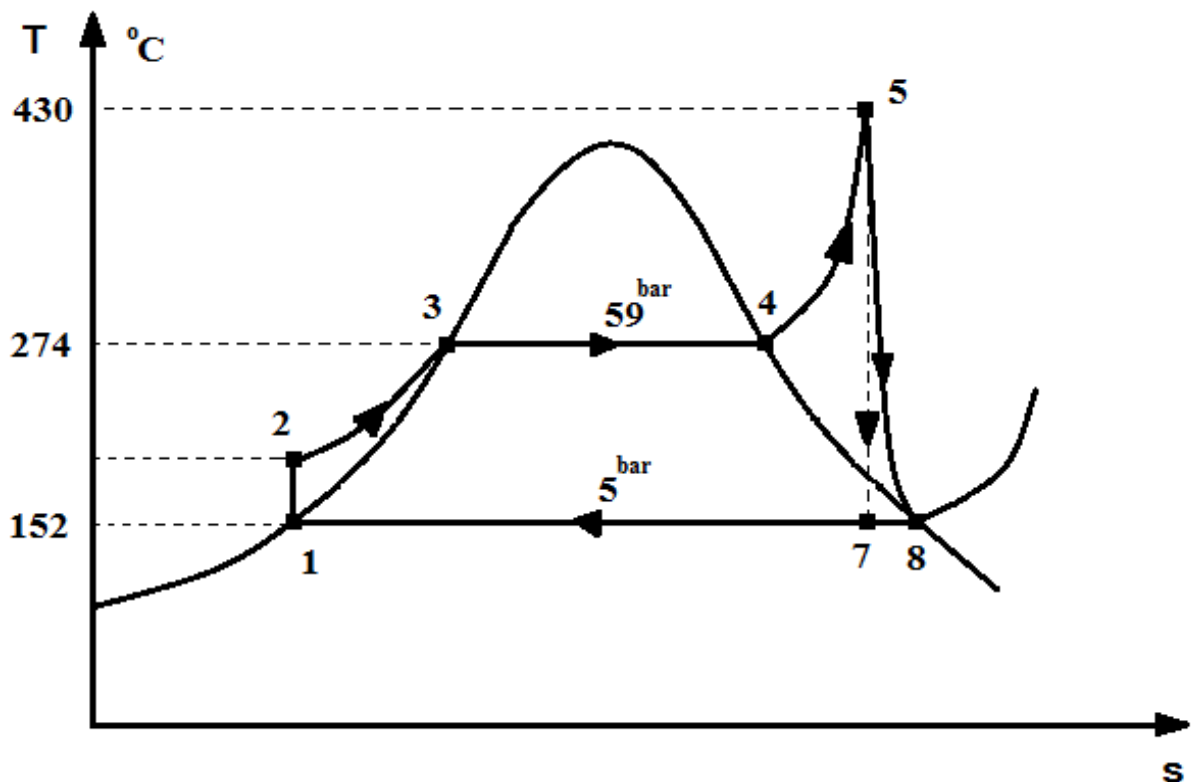
$$\Rightarrow \mathbf{\hat{v}_7 = 363,59 \text{ dcm}^3/\text{kg}}$$

Στον Πιν.4.8 φαίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών μεγεθών για το σημείο 7.

Πίνακας 4.8: Τα θερμοδυναμικά μεγέθη για το σημείο 7

α/α	Θερμοδυναμικά μεγέθη	
1	P_7	5 bar
2	T_7	151,836 °C
3	\hat{v}_7	0,363590 m ³ /kg = 363,590 dcm ³ /kg
4	h_7	2684,88 KJ/Kg
5	s_7	6,6629 KJ/Kg · °K
6	x_7	0,97

Στο Σχ. 4.3 φαίνονται αναλυτικά στο κύκλο Rankine, οι τιμές των σημείων για τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις.



Σχήμα 4.3: Κύκλος Rankine

4.3 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΙΣΧΥΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Για το πετρέλαιο ως υγρό καύσιμο θα χρησιμοποιήσουμε μια εμπειρική σχέση ώστε να υπολογίσουμε την θερμογόνο δύναμη αυτού. Άρα :

$$W \quad H_u = 8130 \cdot C + 24300 \cdot H + 1500 \cdot N + 4560 \cdot S - 2350 \cdot O - 600 \cdot \quad (2.25)$$

$$\Rightarrow H_u = 8130 \cdot 0,8282 + 24300 \cdot 0,1083 + 1500 \cdot 0,0018 + 4560 \cdot 0,039 - 2350 \cdot 0,0037 - 600 \cdot 0,0098 \Rightarrow H_u = 9531 \text{ Kcal/Kg}$$

4.4 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΕΩΣ

Η ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης είναι το ελάχιστο ποσό του αέρα που θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να πετύχουμε την καύση μιας ορισμένης ποσότητας του μαζούτ.

Η ελάχιστη ποσότητα του αέρα καύσεως υπολογίζεται με βάση την σύσταση του καυσίμου σύμφωνα με τον τύπο :

$$L_0 = 8,89 \cdot C + 26,7 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 3,33 \cdot S \quad (2.26)$$

$$\Rightarrow L_0 = 8,89 \cdot 0,8282 + 26,7 \cdot \left(0,1083 - \frac{0,0037}{8} \right) + 3,33 \cdot 0,039 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_0 = 10,37 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$$

4.5 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΞΗΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των ξηρών καπναερίων είναι η ποσότητα χωρίς την υγρασία (υδρατμούς) και υπολογίζεται με τον τύπο :

$$V_{tr} = 8,89 \cdot C + 21,1 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 3,33 \cdot S + 0,796 \cdot N \quad (2.27)$$

$$\Rightarrow V_{tr} = 8,89 \cdot 0,8282 + 21,1 \cdot \left(0,1083 - \frac{0,0037}{8} \right) + 3,33 \cdot 0,039 + 0,796 \cdot 0,0018 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{tr} = 9,77 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$$

4.6 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΓΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των υγρών καπναερίων είναι αυτή που περιέχει και την υγρασία υπό μορφή υδρατμών και υπολογίζεται με τον τύπο :

$$V_0 = 8,89 \cdot C + 32,29 \cdot H - 21,1 \cdot \frac{O}{8} + 3,33 \cdot S + 0,796 \cdot N + 1,244 \cdot W \quad (2.28)$$

$$\Rightarrow V_0 = 8,89 \cdot 0,8282 + 32,29 \cdot 0,1083 - 21,1 \cdot \frac{0,0037}{8} + 3,33 \cdot 0,039 + 0,796 \cdot 0,0018 + 1,244 \cdot 0,0098 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_0 = 10,99 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$$

4.7 ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΣΕ CO₂

Η μέγιστη περιεκτικότητα των καπναερίων σε Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂) εξαρτάται από την ποσότητα του άνθρακα του καυσίμου και υπολογίζεται σε σχέση με την ποσότητα των ξηρών καπναερίων με τον τύπο :

$$K_{max} = \frac{1,867 \cdot C}{V_{tr}} \quad (2.29)$$

$$\Rightarrow K_{max} = \frac{1,867 \cdot 0,8282}{9,77 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}}} \Rightarrow K_{max} = 0,158$$

$$\Rightarrow K_{max} = 15,8 \%$$

4.8 ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ

Σύμφωνα με τον **κ. Διαβάτη, 2011**, η περίσσεια αέρα καύσης είναι η αυξημένη ποσότητα του αέρα καύσης που χρησιμοποιείται για την καύση μιας συγκεκριμένης ποσότητας του καυσίμου. Αντίθετα όταν έχουμε λιγότερη ποσότητα από αυτή που απαιτείται για την καύση του μαζούτ, τότε έχουμε ατελή καύση.

Η περίσσεια του αέρα καύσης υπολογίζεται με βάση την πραγματική περιεκτικότητα K των καπναερίων σε CO_2 , ως εξής :

$$\lambda = 1 + \left(\frac{K_{max}}{K} - 1 \right) \cdot \frac{V_{tr}}{L_0} \quad (2.30)$$

$$\Rightarrow \lambda = 1 + \left(\frac{15,8}{13} - 1 \right) \cdot \frac{9,77 \text{ Nm}^3/\text{Kg}}{10,37 \text{ Nm}^3/\text{Kg}} \Rightarrow \lambda = 1,20$$

4.9 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΞΗΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ (με περίσσεια αέρα)

Είναι προφανές ότι ο περισεύων αέρας δεν συμμετέχει στην καύση και υπάρχει αυτούσιος στα καπναέρια. Επομένως η ποσότητα των πραγματικών καπναερίων περιλαμβάνει και την περίσσεια του αέρα καύσης, και υπολογίζεται με την βοήθεια του τύπου :

$$V_{R,tr} = V_{tr} + (\lambda - 1) \cdot L_0 = V_{tr} \cdot \left(\frac{K_{max}}{K} \right) \quad (2.31)$$

$$\Rightarrow V_{R,tr} = 9,77 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \cdot \left(\frac{15,8}{13} \right) \Rightarrow V_{R,tr} = 11,87 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$$

4.10 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ (με περίσσεια αέρα)

Η ποσότητα των πραγματικών υγρών καπναερίων, τα οποία περιλαμβάνουν και την περίσσεια του αέρα καύσης και την υγρασία, υπολογίζεται με τον τύπο :

$$V_R = V_0 + (\lambda - 1) \cdot L_0 \quad (2.32)$$

$$\Rightarrow V_R = 10,99 \text{ Nm}^3/\text{Kg} + (1,20 - 1) \cdot 10,37 \text{ Nm}^3/\text{Kg} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_R = 13,06 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$$

4.11 Η ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΗ D_1 ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Γνωρίζουμε την ισχύ W_T του ατμοστρόβιλου και την διαφορά ενθαλπίας Δh_T του ατμού μεταξύ εισόδου (σημείο 5) και εξόδου (σημείο 8) στον ατμοστρόβιλο. Η ποσότητα του ατμού που εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο, συμβολίζεται με D_1 και θα υπολογισθεί με τον λόγο της ισχύος του ατμοστρόβιλου προς τη διαφορά ενθαλπίας μεταξύ των σημείων 5 και 8. Επομένως μετατρέπουμε αρχικά την παραγόμενη ισχύ W_T του ατμοστρόβιλου από MW σε KJ/h ως εξής :

$$W_T = 8 \text{ MW} \Rightarrow W_T = 8 \cdot 10^3 \text{ KW} \Rightarrow W_T = 8 \cdot 10^3 \frac{\text{KJ}}{\text{sec}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_T = 8 \cdot 10^3 \frac{\text{KJ}}{\text{sec}} \cdot 3600 \Rightarrow W_T = 28,8 \cdot 10^6 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Με τη βοήθεια του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης η_i , μπορούμε να υπολογίσουμε την διαφορά ενθαλπίας Δh_T του ατμού μεταξύ εισόδου (σημείο 5) και εξόδου (σημείο 8) στον ατμοστρόβιλο :

$$\Delta h_T = h_5 - h_8 = \eta_i \cdot (h_5 - h_7) \quad (2.33)$$

$$\Rightarrow \Delta h_T = (3255,23 - 2748,11) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \Rightarrow \Delta h_T = 507,12 \text{ KJ/Kg}$$

Επομένως αφού υπολογίσαμε τα παραπάνω είμαστε σε θέση πλέον να υπολογίσουμε την ατμοπαραγωγή D_1 εφαρμόζοντας την παρακάτω σχέση :

$$W_T = D_1 \cdot \Delta h_T \Rightarrow D_1 = \frac{W_T}{\Delta h_T} \quad (2.34)$$

$$\Rightarrow D_1 = \frac{28,8 \cdot 10^6 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{507,12 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \Rightarrow D_1 = 56791 \text{ kg/h} \quad \eta \quad D_1 = 56,8 \text{ tn/h}$$

4.12 Η ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ D_2 ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο ατμός μετά τον στρόβιλο έχει μικρότερη ή μεγαλύτερη τιμή από αυτή που απαιτείται, πριν φτάσει στην παραγωγική διαδικασία. Επομένως θα πρέπει να συγκρίνουμε την ποσότητα του ατμού D_2 που θα υπολογίσουμε με την απαιτούμενη. Γνωρίζουμε ότι η ποσότητα του ατμού για παραγωγή ρεύματος, ισούται με :

$$D_1 = 56,8 \text{ tn/h}$$

Η διαφορά ενθαλπίας Δh_0 στην παραγωγική διαδικασία θα ισούται με :

$$\Delta h_0 = h_8 - h_1 \quad (2.35)$$

$$\Rightarrow \Delta h_0 = (2748,11 - 640,18) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \Delta h_0 = 2107,93 \text{ KJ/Kg}$$

Έτσι λοιπόν η ποσότητα του ατμού D_2 θα υπολογισθεί με τον λόγο της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας Q_0 του ατμού στη παραγωγική διαδικασία, προς τη διαφορά ενθαλπίας Δh_0 μεταξύ των σημείων 8 και 1. Επομένως :

$$Q_0 = D_2 \cdot \Delta h_0 \Rightarrow D_2 = \frac{Q_0}{\Delta h_0} \quad (2.36)$$

$$\Rightarrow D_2 = \frac{50 \frac{\text{GJ}}{\text{h}}}{2107,93 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \Rightarrow D_2 = \frac{50 \cdot 10^6 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{2107,93 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

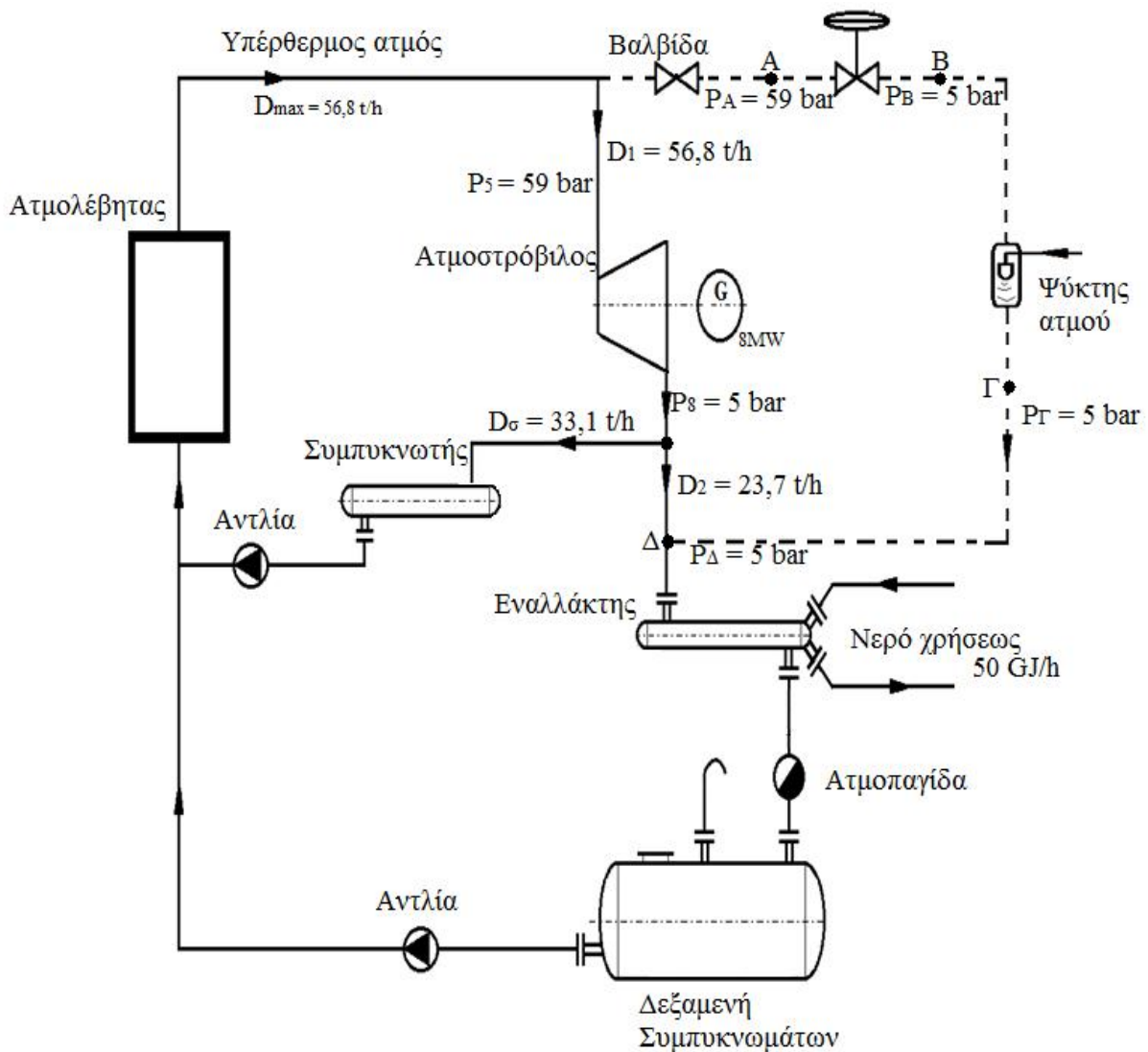
$$\Rightarrow D_2 = 23720 \text{ kg/h} \quad \text{ή} \quad D_2 = 23,7 \text{ tn/h}$$

Άρα συμπεραίνουμε ότι από $56,8 \text{ tn/h}$ του ατμού που μεταφέρεται στον αμοστρόβιλο, μόνο το $23,7 \text{ tn/h}$ του ατμού, πηγαίνουν στην παραγωγική διαδικασία, στη **κανονική λειτουργία** του συστήματος, $D_1 > D_2$. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν, θα θεωρήσουμε ότι η μέγιστη αμοσπαραγωγή D_{max} του αμολέβητα είναι ίση με τη ποσότητα του ατμού D_1 για την λειτουργία του αμοστροβίλου. Επομένως με τον κατάλληλο αυτοματισμό που θα έχουμε τοποθετήσει στο σύστημα μας, θα ανοίγει η βαλβίδα για τον συμπυκνωτή και θα κλείνει για το μειωτή πίεσης και ψύκτη ατμού. Έτσι το επιπλέον ποσό του ατμού D_σ , θα καταφεύγει στον συμπυκνωτή και ύστερα θα επιστρέφει πίσω στον λέβητα με τη βοήθεια της αντλίας υπό μορφή νερού. Η υπόλοιπη ποσότητα

του ατμού D_2 , θα καταφεύγει στην παραγωγική διαδικασία. Εκεί μετά την λειτουργία του, υπό μορφή νερού, θα οδηγείται στη δεξαμενή συμπυκνωμάτων ώστε να μην χαθεί και τελικά με την βοήθεια της αντλίας θα επιστρέφει πίσω στον ατμολέβητα για να ξανά ακολουθήσει η διαδικασία από την αρχή.

Για τις ημέρες που θα έχουμε χαμηλή ανάγκη ρεύματος, και θα έχουμε χαμηλή ποσότητα ατμού D_1 για την λειτουργία του ατμοστρόβιλου, θα ισχύει το ακριβώς αντίθετο. Δηλαδή, $D_1 < D_2$ και με την βοήθεια του αυτοματισμού, θα κλείνει η βαλβίδα για το συμπυκνωτή, και θα ανοίγει για το μειωτή πίεσης και ψύκτη ατμού. Έτσι στον ατμό μετά τον ατμοστρόβιλο, πριν φτάσει στην παραγωγική διαδικασία, θα προστίθεται ατμός ίδιας πίεσης και θερμοκρασίας. Μόλις λοιπόν ο ατμός φτάσει στην παραγωγική διαδικασία, ακολουθεί τα ίδια βήματα που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Στο Σχ. 4.4 φαίνεται ο ατμοηλεκτρικός σταθμός με σύστημα αυτοματισμού για την εξισορρόπηση της ποσότητας του ατμού :



Σχήμα 4.4: Ατμοηλεκτρικός σταθμός με σύστημα αυτοματισμού για την εξισορρόπηση της ποσότητας του ατμού

Το επιπλέον ποσό του ατμού που θα πηγαίνει προς τον συμπυκνωτή, ισούται με :

$$D_{\sigma} = D_1 - D_2 \quad (2.37)$$

Όπου : D_{σ} = Η επιπρόσθετη ποσότητα του ατμού στο συμπυκνωτή

D_1 = Η ποσότητα του ατμού που παράγεται στον λέβητα

D_2 = Η ποσότητα του ατμού στην παραγωγική διαδικασία

Επομένως :

$$D_{\sigma} = D_1 - D_2 \quad \Rightarrow \quad D_{\sigma} = 56,8 \frac{tn}{h} - 23,7 \frac{tn}{h} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad D_{\sigma} = 33,1 \text{ tn/h}$$

4.13 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 1 Kg ΑΤΜΟΥ

Για να υπολογίσουμε σε επόμενο βήμα την κατανάλωση καυσίμου B, θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τη θερμότητα για παραγωγή 1 Kg ατμού η οποία προσδιορίζεται από την διαφορά ενθαλπίας μεταξύ σημείων εισόδου (σημείο 2) και εξόδου (σημείο 5) του ατμολέβητα. Επομένως :

$$\Delta h = h_5 - h_2 \quad (2.38)$$

$$\Rightarrow \quad \Delta h = (3255,23 - 646,08) \frac{KJ}{Kg} \quad \Rightarrow \quad \Delta h = 2609,15 \text{ KJ/Kg}$$

4.14 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ 3500 °Red.) το προθερμαίνουμε στον προθερμαντήρα καυσίμου, πριν πραγματοποιηθεί η καύση, ώστε να έχει ικανοποιητική ρευστότητα. Έτσι γι' αυτό τον λόγο έχει αποδειχτεί ότι η καταλληλότερη θερμοκρασία προθερμάνσεως που πρέπει να αποκτήσει το μαζούτ για να έχει καλή κυκλοφορία, με άριστο διασκορπισμό στον καυστήρα και πιο αποδοτική καύση, επιλέγεται να βρίσκεται περίπου στους 120 °C.

$$q_B = C_p \cdot (T_B - T_l) \quad (2.39)$$

$$\Rightarrow q_B = 0,40 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (120 - 20) ^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_B = 40 \text{ Kcal/Kg}$$

4.15 ΠΡΟΣΔΙΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΣΤΙΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

Η συνολική θερμότητα που απελευθερώνεται στην εστία προκύπτει από την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου και την θερμότητα προθερμάνσεως αυτού, ως εξής :

$$Q = H_u + q_B \quad (2.40)$$

$$\Rightarrow Q = 9531 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} + 40 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = 9571 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{ή } Q = 9571 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \cdot 4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kcal}} \Rightarrow Q = 40074 \text{ KJ/Kg}$$

4.16 ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η ωριαία κατανάλωση καυσίμου μας δείχνει την ποσότητα του καυσίμου που καίγεται ανά ώρα.

Έχοντας γνωστά την ωριαία ατμοπαραγωγή και την απαιτούμενη θερμότητα για παραγωγή 1 Kg ατμού, καθώς επίσης την συνολική προσδιδόμενη θερμότητα και την απόδοση του λέβητα, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την ωριαία κατανάλωση του καυσίμου εφαρμόζοντας το παρακάτω :

$$B = \frac{D_1 \cdot \Delta h}{\eta \cdot Q} \quad (2.41)$$

$$\Rightarrow B = \frac{56791 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 2609,15 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{0,85 \cdot 40074 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} \Rightarrow B = 4350 \text{ Kg/h}$$

4.17 ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟ

Η απελευθερούμενη θερμότητα Q_f στον φλογοθάλαμο αποτελείται από την προσδιδόμενη θερμότητα Q στην εστία του ατμολέβητα και την κατανάλωση καυσίμου B και δίνεται παρακάτω :

$$Q_f = B \cdot (H_u + q_B) \Rightarrow Q_f = B \cdot (Q) \quad (2.42)$$

$$\Rightarrow Q_f = 4350 \frac{Kg}{h} \cdot 9571 \frac{Kcal}{Kg} \Rightarrow Q_f = 41,63 \cdot 10^6 Kcal/h$$

4.18 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Για να υπολογίσουμε τις διαστάσεις του φλογοθαλάμου που περιλαμβάνουν τον όγκο V_f , την επιφάνεια οριζοντίου διατομής φλογοθαλάμου F_f , το πλάτος b_f , το μήκος l_f και το ύψος h_f , θα χρησιμοποιήσουμε 2 εμπειρικά μεγέθη που προκύψαν από μελέτες παλαιότερων μονάδων ατμοπαραγωγής, τα οποία χαρακτηρίζονται ως ειδικές φορτίσεις. Έτσι στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**, συναντάμε 2 περιπτώσεις :

$$\text{Ειδική φόρτιση ανά μονάδα όγκου : } q_f = 0,4 \cdot 10^6 \frac{Kcal}{m^3 \cdot h}$$

$$\text{Ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας : } q_F = 2,5 \cdot 10^6 \frac{Kcal}{m^2 \cdot h}$$

α) Όγκος φλογοθαλάμου

Για να υπολογίσουμε τον όγκο φλογοθαλάμου V_f , θα χρησιμοποιήσουμε την απελευθερούμενη θερμότητα στον φλογοθάλαμο Q_f και την ειδική φόρτιση ανά μονάδα όγκου q_f :

$$V_f = \frac{Q_f}{q_f} \quad (2.43)$$

$$\Rightarrow V_f = \frac{41,63 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{0,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3 \cdot \text{h}}} \Rightarrow V_f = 104,08 \text{ m}^3 \Rightarrow V_f = 104 \text{ m}^3$$

β) Επιφάνεια οριζοντίου διατομής φλογοθαλάμου

Για να υπολογίσουμε την επιφάνεια οριζοντίου διατομής του φλογοθαλάμου F_f , θα χρησιμοποιήσουμε την απελευθερούμενη θερμότητα στον φλογοθάλαμο Q_f και την ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας q_F :

$$F_f = \frac{Q_f}{q_F} \quad (2.44)$$

$$\Rightarrow F_f = \frac{41,63 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{2,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}} \Rightarrow F_f = 16,65 \text{ m}^2$$

γ) Πλάτος φλογοθαλάμου

Θα επιλέξουμε το πλάτος b_f του φλογοθαλάμου ίσο με :

$$b_f = 3,00 \text{ m}$$

δ) Μήκος φλογοθαλάμου

Θα επιλέξουμε το μήκος l_f του φλογοθαλάμου ίσο με :

$$l_f = 5,5 \text{ m}$$

ε) Ύψος φλογοθαλάμου

Για να υπολογίσουμε το ύψος του φλογοθαλάμου h_f , θα χρησιμοποιήσουμε τον όγκο V_f και την επιφάνεια οριζοντίου διατομής F_f του φλογοθαλάμου :

$$h_f = \frac{V_f}{F_f} \quad (2.45)$$

$$\Rightarrow h_f = \frac{104 m^3}{16,65 m^2} \Rightarrow h_f = 6,25 m$$

Η πραγματική λοιπόν επιφάνεια οριζοντίου διατομής F_f θα ισούται με :

$$F_f = l_f \cdot b_f \quad (2.46)$$

$$\Rightarrow F_f = 5,5^m \cdot 3,0^m \Rightarrow F_f = 16,50 m^2$$

4.19 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Η θεωρητική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου T_{th} , είναι η ιδανική περίπτωση που θα είχαμε στην πραγματικότητα αν δεν υπήρχε η μεταβίβαση θερμότητας στους αυλούς του φλογοθαλάμου και αν δεν υπήρχαν οι απώλειες θερμότητας από ακτινοβολία X_C των θερμών επιφανειών του ατμολέβητα προς το περιβάλλον και απώλειες λόγω αγωγιμότητας X_B των τοιχωμάτων αυτού.

Η ιδανική αυτή θερμοκρασία υπολογίζεται ως εξής :

$$T_{th} = \frac{H_u + q_b}{C_p \cdot V_R} + T_l \quad (2.47)$$

$$\Rightarrow T_{th} = \frac{9531 \frac{Kcal}{kg} + 40 \frac{Kcal}{kg}}{0,37 \frac{Kcal}{Nm^3 \cdot ^\circ C} \cdot 13,06 \frac{Nm^3}{Kg}} + 20^\circ C \Rightarrow T_{th} = 2002^\circ C$$

4.20 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Θα θεωρήσουμε ότι οι αυλοσωλήνες που συναντάμε στον ατμολέβητα είναι κατακόρυφοι σε όλη την περίμετρο αυτού με εξωτερική διάμετρο

Φ88,9 mm και πάχος $s = 3,2 \text{ mm}$ με τυποποίηση κατά ISO σύμφωνα με τον πίνακα στο βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**.

Σύμφωνα με το βιβλίο του **Ν. Παπαγεωργίου [3], Τόμος II**, η ακτινοβολούμενη επιφάνεια υπολογίζεται ως εξής :

$$F_s = \Sigma l_a \cdot d \cdot \left[1 + \frac{t-d}{2t} \right] \quad (2.48)$$

όπου : $t =$ βήμα αυλών

$l_a =$ μήκος αυλών

$d =$ εξωτερική διάμετρος αυλών

Για τον υπολογισμό λοιπόν της ακτινοβολούμενης επιφάνειας του φλογοθαλάμου F_s , θα υπολογίσουμε αρχικά τη περίμετρο Γ αυτού, εφαρμόζοντας την παρακάτω σχέση :

$$\Gamma = 2 \cdot b_f + 2 \cdot l_f \quad (2.49)$$

$$\Rightarrow \Gamma = 2 \cdot 3,00 \text{ m} + 2 \cdot 5,50 \text{ m} \Rightarrow \Gamma = 17 \text{ m}$$

όπου : $b_f =$ πλάτος φλογοθαλάμου

$l_f =$ μήκος φλογοθαλάμου

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το βήμα των αυλών, σύμφωνα με τον εμπειρικό τύπο :

$$t = \frac{\pi \cdot d}{2} \quad (2.50)$$

$$\Rightarrow t = \frac{3,14 \cdot 88,9 \text{ mm}}{2} \Rightarrow t = 140 \text{ mm}$$

Με βάση τη περίμετρο Γ του φλογοθαλάμου και το βήμα των αυλών t , θα υπολογίσουμε τον αριθμό των κατακόρυφων αυτών αυλών n που θα περιλαμβάνει ο φλογοθάλαμος σύμφωνα με τη σχέση :

$$n = \frac{\Gamma}{t} \quad (2.51)$$

$$\Rightarrow n = \frac{17 \text{ m}}{0,14 \text{ m}} \Rightarrow n = 122 \text{ αυλοί}$$

Για το αρχικό λοιπόν στάδιο, θα θεωρήσουμε ότι το μήκος των αυλών l_a , ισούται με το ύψος του φλογοθαλάμου. Επομένως:

$$l_a = h_f = 6,25 \text{ m.}$$

Αφού λοιπόν υπολογίσαμε όλα τα άγνωστα παραπάνω μεγέθη, μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την ακτινοβολούμενη επιφάνεια του φλογοθαλάμου :

$$F_s = n \cdot l_a \cdot d \cdot \left[1 + \frac{t-d}{2t} \right]$$

$$\Rightarrow F_s = 122 \cdot 6,25^m \cdot 0,0889^m \cdot \left[1 + \frac{0,14^m - 0,0889^m}{2 \cdot 0,14^m} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_s = 79,96 \text{ m}^2$$

4.21 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Η πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου T_f , όπως αναφέραμε και στην ενότητα 4.19, διαφέρει από την ιδανική θερμοκρασία T_{th} , λόγω των απωλειών της θερμότητας που οφείλεται από την ακτινοβολία που εκπέμπει η φλόγα, στην ακτινοβολούμενη επιφάνεια των αυλών. Η πραγματική αυτή θερμοκρασία στο φλογοθάλαμο, υπολογίζεται με βάση τη σχέση :

$$T_f = \frac{Q_f - S \cdot F_s}{B \cdot C_p \cdot V_R} + T_l \quad (2.52)$$

όπου : S = θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο

Επειδή δεν γνωρίζουμε την θερμότητα S που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο, θα αναπτύξουμε προς το παρόν την σχέση της θερμότητας S και ύστερα θα την αντικαταστήσουμε στη σχέση της πραγματικής θερμοκρασίας T_f του φλογοθαλάμου. Αρχικά λοιπόν η σχέση που θα αναπτύξουμε είναι η παρακάτω :

$$S = C \cdot \left[\left(\frac{t_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_w}{100} \right)^4 \right] \quad (2.53)$$

όπου : C = συντελεστής ακτινοβολίας
 t_f = πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου

t_w = θερμοκρασία της ακτινοβολούμενης επιφάνειας

Για να αναπτύξουμε λοιπόν την σχέση της θερμότητας S που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο, θα μετατρέψουμε την πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου σε μονάδες $^{\circ}K$. Επομένως :

$$t_f = T_f + 273 \text{ } ^{\circ}K \quad (2.54)$$

όπου : T_f = πραγματική θερμοκρασία φλογοθαλάμου σε μονάδες $^{\circ}C$

Η θερμοκρασία t_w της ακτινοβολούμενης επιφάνειας, υπολογίζεται με βάση τη θερμοκρασία t_s βρασμού του ύδατος στην πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα (η οποία ισούται με $P = 59 \text{ bar}$ και βρίσκεται μέσα από τον βιβλίο του **κ. Γιαννόπουλου, 2011**) και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού τοιχώματος και του νερού εντός των αυλών ίση με $10 \text{ } ^{\circ}K$. Επομένως :

$$t_w = t_s + 10 \text{ } ^{\circ}K \quad (2.55)$$

Η θερμοκρασία λοιπόν του βρασμού t_s υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση :

$$t_s = 274,492 + 273 \quad \Rightarrow \quad t_s = 547 \text{ } ^{\circ}K$$

Άρα η θερμοκρασία t_w της ακτινοβολούμενης επιφάνειας, θα είναι :

$$t_w = t_s + 10 \text{ } ^{\circ}K \quad \Rightarrow \quad t_w = (547 + 10) \text{ } ^{\circ}K \quad \Rightarrow \quad t_w = 557 \text{ } ^{\circ}K$$

Όσο για τον συντελεστή ακτινοβολίας, για τη περίπτωση που χρησιμοποιούμε καύσιμο μαζούτ, μας δίνεται από τα δεδομένα ότι ισούται με :

$$C = 3,6 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{ } ^{\circ}K)^4$$

Επομένως η σχέση της θερμότητα S που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο θα αναπτυχθεί και θα γίνει :

$$S = C \cdot \left[\left(\frac{t_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_w}{100} \right)^4 \right] \quad \Rightarrow$$
$$\Rightarrow S = 3,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{ } ^{\circ}K)^4} \cdot \left[\left(\frac{T_f + 273 \text{ } ^{\circ}K}{100} \right)^4 - \left(\frac{557 \text{ } ^{\circ}K}{100} \right)^4 \right] \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = 3,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{°K})^4} \cdot \left[\left(\frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4 - 5,57^4 \right] \text{°K}$$

Αφού λοιπόν αναπτύξαμε τη σχέση της θερμότητας που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο, θα αναπτύξουμε την σχέση της ζητούμενης πραγματικής θερμοκρασίας T_f , και για την επίλυση της θα εφαρμόσουμε την αλγεβρική μέθοδο. Επομένως :

$$T_f = \frac{Q_f - S \cdot F_s}{B \cdot C_{pm} \cdot V_R} + T_l \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{41,63 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} - 3,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{°K})^4} \cdot \left[\left(\frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4 - 5,57^4 \right] \text{°K} \cdot 79,96 \text{ m}^2}{4350 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 0,37 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3 \cdot \text{°C}} \cdot 13,06 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}}} + 20 \text{°C}$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{41,63 \cdot 10^6 - 287,86 \cdot \left[\left(\frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4 - 5,57^4 \right]}{21020} + 20 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{41,91 \cdot 10^6 - 287,86 \cdot \left(\frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4}{21020} + 20$$

Αφού αναπτύξαμε τη παραπάνω σχέση της πραγματικής θερμοκρασίας του φλογοθαλάμου, θα εφαρμόσουμε την αλγεβρική μέθοδο για να την υπολογίσουμε σύμφωνα με το παρακάτω :

$$\text{Έστω } T_f = 1259 \text{ °C}$$

$$T_f = \frac{41,91 \cdot 10^6 - 287,86 \cdot \left(\frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4}{21020} + 20 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{41,91 \cdot 10^6 - 287,86 \cdot \left(\frac{1259}{100} + 2,73 \right)^4}{21020} + 20 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{41,91 \cdot 10^6 - 15,86 \cdot 10^6}{21020} + 20 \Rightarrow T_f = 1259 \text{ }^\circ\text{C}$$

Παρατηρούμε πως για την τιμή $T_f = 1259 \text{ }^\circ\text{C}$, συμπίπτει η υποθετική πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου με την ζητούμενη. Άρα σταματάμε την διαδικασία και έχουμε την πραγματική τιμή της θερμοκρασίας του φλογοθαλάμου. Συνοπτικά φαίνονται στον Πιν. 4.10 οι τιμές της πραγματικής και ζητούμενης θερμοκρασίας του φλογοθαλάμου που βρήκαμε προηγουμένως :

Πίνακας 4.10: Τιμές πραγματικής και ζητούμενης θερμοκρασίας του φλογοθαλάμου

α/α	Υποθετική πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου T_f	Τιμή της πραγματικής θερμοκρασίας του φλογοθαλάμου T_f
1	$T_f = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_f = 1654 \text{ }^\circ\text{C}$
2	$T_f = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_f = 1527 \text{ }^\circ\text{C}$
3	$T_f = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_f = 1369 \text{ }^\circ\text{C}$
4	$T_f = 1220 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_f = 1333 \text{ }^\circ\text{C}$
5	$T_f = 1259 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_f = 1259 \text{ }^\circ\text{C}$

4.22 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΜΕΤΑΔΙΔΕΤΑΙ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟΝ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟ

Για να υπολογίσουμε την θερμότητα S που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο ανά μονάδα ακτινοβολούμενης επιφάνειας, όπως αναφέραμε στην ενότητα 2.21, θα εφαρμόσουμε τη παρακάτω σχέση 2.53 :

$$S = C \cdot \left[\left(\frac{t_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_w}{100} \right)^4 \right]$$

όπου : C = συντελεστής ακτινοβολίας σε μονάδες $Kcal/m^2 \cdot h \cdot (^\circ K)^4$

t_f = πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου σε μονάδες $^\circ K$

t_w = θερμοκρασία της ακτινοβολούμενης επιφάνειας σε μονάδες $^\circ K$

Αφού έχουμε υπολογίσει την πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου T_f σε μονάδες $^\circ\text{C}$, θα πρέπει να μετατρέψουμε αυτές τις μονάδες σε $^\circ K$. Επομένως :

$$t_f = T_f + 273 \text{ }^\circ\text{K} \Rightarrow t_f = 1259 \text{ }^\circ\text{C} + 273 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_f = 1532 \text{ }^\circ\text{K}$$

όπου : T_f = πραγματική θερμοκρασία φλογοθαλάμου σε μονάδες $^\circ\text{C}$

Την θερμοκρασία t_w της ακτινοβολούμενης επιφάνειας, την υπολογίσαμε στην ενότητα 4.21 και ήταν ίση με :

$$t_w = 557 \text{ }^\circ\text{K}$$

Επομένως η θερμότητα S που μεταδίδεται με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο ανά μονάδα ακτινοβολούμενης επιφάνειας θα ισούται με :

$$S = C \cdot \left[\left(\frac{t_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_w}{100} \right)^4 \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = 3,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{ }^\circ\text{K})^4} \cdot \left[\left(\frac{1532 \text{ }^\circ\text{K}}{100} \right)^4 - \left(\frac{557 \text{ }^\circ\text{K}}{100} \right)^4 \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = 3,6 \cdot (55085 - 962) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = 194,84 \cdot 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

4.23 ΜΕΡΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΝΕΤΑΙ ΣΤΟ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟ

Η συνολική θερμότητα Q_f , που αποδίδεται στο φλογοθάλαμο κατά την καύση του καυσίμου, χωρίζεται σε δύο μέρη, (α) Τη θερμότητα Q_{af} που μεταδίδεται με ακτινοβολία στην επιφάνεια των αυλών του φλογοθαλάμου και δημιουργεί ατμοποίηση, (β) τη θερμότητα Q_R λόγω των θερμών καπναερίων πέρα από τον φλογοθάλαμο στα υπόλοιπα τμήματα του ατμολέβητα. Δηλαδή ισχύει :

$$Q_f = Q_{af} + Q_R \tag{2.56}$$

α) Θερμότητα των θερμών καπναερίων

Η θερμότητα των θερμών καπναερίων Q_R υπολογίζεται από τη σχέση :

$$Q_R = (1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm} \cdot (T_f - T_l) \quad (2.57)$$

$$\Rightarrow Q_R = (1 - 2,5\%) \cdot 4350 \frac{Kg}{h} \cdot 13,06 \frac{Nm^3}{Kg} \cdot 0,37 \frac{Kcal}{Nm^3 \cdot ^\circ C} \cdot (1259 - 20) ^\circ C$$

$$\Rightarrow Q_R = 25,39 \cdot 10^6 \text{ Kcal/h}$$

b) Θερμότητα αποδιδόμενη με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο

Η θερμότητα αποδιδόμενη με ακτινοβολία στον φλογοθάλαμο Q_{af} , υπολογίζεται με βάση την αφαίρεση της συνολικής θερμότητας που αποδίδεται στην εστία με την θερμότητα των θερμών καπναερίων :

$$Q_{af} = Q_f - Q_R \quad (2.58)$$

$$\Rightarrow Q_{af} = 41,63 \cdot 10^6 \frac{Kcal}{h} - 25,39 \cdot 10^6 \frac{Kcal}{h} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{af} = 16,24 \cdot 10^6 \text{ Kcal/h}$$

4.24 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΔΙΔΟΜΕΝΗ ΓΙΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ

Η θερμότητα που προσδίδεται από τα καπναέρια για ατμοποίηση στο Αρχικό και Τελικό τμήμα του ατμολέβητα υπολογίζεται με βάση την αύξηση της ενθαλπίας q_0 του εισερχόμενου νερού στο τύμπανο από τον προθερμαντήρα νερού και της ενθαλπίας h_x του ατμού του τυμπάνου, σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο :

$$\Delta h = h_x - q_0 \quad (2.59)$$

Επειδή στην πραγματικότητα, στο σημείο 4 (ατμός τυμπάνου), ο βαθμός ξηρότητας X_4 είναι μικρότερος της μονάδας, $X_4 < 1$ (ο ατμός δηλαδή χαρακτηρίζεται ως υγρός ατμός), αυτός κυμαίνεται λόγω εμπειρίας μεταξύ $X_4 = 0,97$ έως $0,99$. Εμείς λοιπόν για την περίπτωση μας, θα λάβουμε την τιμή $X_4 = 0,98$. Έτσι γνωρίζοντας τις ενθαλπίες στα σημεία 3 και 4 του

κύκλου Rankine, βρίσκουμε την πραγματική ενθαλπία h_x του υγρού ατμού στο σημείο 4, και υπολογίζεται ως εξής :

$$h_x = h_3 + x \cdot (h_4 - h_3) \quad (2.60)$$

$$\Rightarrow h_x = 1208,09 \frac{KJ}{Kg} + 0,98 \cdot (2785,64 \frac{KJ}{Kg} - 1208,09 \frac{KJ}{Kg}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_x = 2754,09 \frac{KJ}{Kg} \Rightarrow h_x = \frac{2754,09 \frac{KJ}{Kg}}{4,187} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_x = 657,78 \text{ Kcal/Kg}$$

Το νερό που τροφοδοτούμε στο λέβητα πριν το σημείο 3 (νερό τυμπάνου), έχει αυξημένη πίεση από 5 bar σε 59 bar λόγω της αντλίας και λόγω της προθέρμανσης του έχει αποκτήσει θερμοκρασία $T_0 = 176 \text{ }^\circ\text{C}$. Έτσι η ενθαλπία q_0 στη κατάσταση αυτή θα ισούται με :

$$q_0 = 745,551 \frac{KJ}{Kg} \Rightarrow q_0 = \frac{745,551 \frac{KJ}{Kg}}{4,187} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_0 = 178,06 \text{ Kcal/Kg}$$

Επομένως η συνολική θερμότητα που προσδίδεται για ατμοποίηση, υπολογίζεται με βάση τη σχέση :

$$Q_D = D_1 \cdot \Delta h \Rightarrow Q_D = D_1 \cdot (h_x - q_0) \quad (2.61)$$

$$\Rightarrow Q_D = 56791 \frac{Kg}{h} \cdot (657,78 \frac{Kcal}{Kg} - 178,06 \frac{Kcal}{Kg}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_D = 27,24 \cdot 10^6 \text{ Kcal/h}$$

4.25 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΔΙΔΕΤΑΙ ΣΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ

Σε αυτό το τμήμα τα καπναέρια έχουν φύγει από τον φλογοθάλαμο με θερμοκρασία εξόδου T_f και έχουν εισέλθει στο αρχικό αυτό τμήμα που μελετάμε με την ίδια θερμοκρασία, δηλαδή $T_f = 1259 \text{ }^\circ\text{C}$. Αντίστοιχα η

θερμοκρασία εξόδου του αρχικού τμήματος T_2 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο του υπερθερμαντήρα και έχει ληφθεί ίση με $T_2 = 900^\circ\text{C}$ λόγω της ποιότητας του χάλυβα που έχουμε επιλέξει για την περίπτωση αυτή. Έτσι η θερμότητα που προκύπτει από την μείωση της θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του αρχικού τμήματος θα ισούται με :

$$Q_1 = (1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm} \cdot (T_f - T_2) \quad (2.62)$$

$$\Rightarrow Q_1 = (1 - 0,025) \cdot 4350 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 13,06 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}} \cdot 0,37 \frac{\text{KCal}}{\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (1259^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C})$$

$$\Rightarrow Q_1 = 7,36 \cdot 10^6 \text{ Kcal/h}$$

4.26 ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΡΧΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στη περίπτωση αυτή, αναφερόμαστε στο εσωτερικό μέρος των αυλών (που υπάρχει νερό σε κατάσταση βρασμού) και στο εξωτερικό μέρος των αυλών (που ρέουν τα καπναέρια). Στο εσωτερικό μέρος λοιπόν η θερμοκρασία T_s λόγω του βρασμού του νερού στο σημείο 3 στο κύκλο Rankine παραμένει διαρκώς σταθερή λόγω αλλαγής φάσης και ισούται με $T_s = 274^\circ\text{C}$ ενώ αντίστοιχα η θερμοκρασία των καπναερίων που ρέουν στο εξωτερικό μέρος των αυλών ελαττώνεται όπως προαναφέραμε στην ενότητα 4.21, από $T_f = 1259^\circ\text{C}$ σε $T_2 = 900^\circ\text{C}$. Έτσι λοιπόν έχοντας αυτά ως δεδομένα, θα εφαρμόσουμε τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη θερμαινόμενη επιφάνεια του αρχικού τμήματος, και η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.63)$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{max} = T_f - T_s \quad (2.64)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{max} = 1259^\circ\text{C} - 274^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T_{max} = 985^\circ\text{C}$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{min} = T_2 - T_s \quad (2.65)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{min} = 900^\circ\text{C} - 274^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T_{min} = 626^\circ\text{C}$$

Επομένως :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = \frac{985^{\circ}\text{C} - 626^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{985^{\circ}\text{C}}{626^{\circ}\text{C}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = 798^{\circ}\text{C}$$

Για να υπολογίσουμε λοιπόν την θερμαινόμενη επιφάνεια του αρχικού τμήματος ατμοποίησης χρησιμοποιούμε τη σχέση μετάδοσης θερμότητας λόγω συναγωγής :

$$Q_1 = K \cdot F_1 \cdot (\Delta T_m)_{log} \Rightarrow F_1 = \frac{Q_1}{K \cdot (\Delta T_m)_{log}} \quad (2.66)$$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{7,36 \cdot 10^6 \frac{\text{KCal}}{\text{h}}}{32 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{KCal}} \cdot 798^{\circ}\text{C}} \Rightarrow F_1 = 288 \text{ m}^2$$

4.27 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΔΙΔΕΤΑΙ ΣΤΟΝ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ ΑΤΜΟΥ

Σε αυτό το τμήμα, τα καπναέρια έχουν φύγει από το αρχικό τμήμα με θερμοκρασία εξόδου T_2 και έχουν εισέλθει στο αρχικό αυτό τμήμα που μελετάμε με την ίδια θερμοκρασία, δηλαδή $T_2 = 900^{\circ}\text{C}$. Αντίστοιχα η θερμοκρασία εξόδου του υπερθερμαντήρα T_3 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο του Τελικού τμήματος και είναι άγνωστη προς το παρόν. Έτσι τα καπναέρια προσφέρουν θερμότητα Q_u για την αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού (ώστε στη συνέχεια αυτός να μετατραπεί ως υπέρθερμος ατμός).

Η θερμότητα λοιπόν αυτή προκύπτει με βάση την ατμοπαραγωγή D_1 και την διαφορά ενθαλπίας μεταξύ σημείου 5 (σημείο στον υπερθερμαντήρα) και σημείου 4 (σημείο στον ατμό τυμπάνου όπου έχουμε την πραγματική ενθαλπία του υγρού ατμού) :

$$Q_u = D_1 \cdot (h_5 - h_x) \quad (2.67)$$

$$\text{Όπου : } h_5 = 3255,23 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \Rightarrow h_5 = \frac{3255,23 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{4,187} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_5 = 777,46 \text{ Kcal/Kg}$$

Επομένως :

$$Q_u = 56791 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \left(777,46 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} - 657,77 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_u = 6,80 \cdot 10^6 \text{ Kcal/h}$$

4.28 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ

Όπως προαναφέραμε στην ενότητα 4.27, η θερμοκρασία εξόδου του υπερθερμαντήρα T_3 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο του Τελικού τμήματος. Η θερμοκρασία λοιπόν αυτή είναι μικρότερη από την θερμοκρασία εισόδου του υπερθερμαντήρα, καθώς τα καπναέρια προσφέρουν θερμότητα για την αύξηση θερμοκρασίας του ατμού εντός των αυλών. Η θερμοκρασία λοιπόν αυτή υπολογίζεται με την βοήθεια της θερμότητας που αποδίδεται στον υπερθερμαντήρα ατμού σύμφωνα με τη σχέση :

$$Q_{\dot{u}} = (1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm} \cdot (T_2 - T_3) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_3 = T_2 - \frac{Q_{\dot{u}}}{(1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm}} \quad (2.68)$$

$$\Rightarrow T_3 = 900^\circ\text{C} - \frac{6,80 \cdot 10^6 \frac{\text{KCal}}{\text{h}}}{(1 - 0,025) \cdot 4350 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 13,06 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}} \cdot 0,36 \frac{\text{KCal}}{\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_3 = 559^\circ\text{C}$$

4.29 ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ

Στη περίπτωση αυτή, αναφερόμαστε στο εσωτερικό μέρος των αυλών (που υπάρχει πλέον ατμός) και στο εξωτερικό μέρος των αυλών (που ρέουν τα καπναέρια). Στο εσωτερικό μέρος λοιπόν η θερμοκρασία T_s είναι αρχικά ίση με την θερμοκρασία στο σημείο 4 του ατμού, στο κύκλο Rankine, και αυξάνεται στη πορεία λόγω προσφοράς θερμότητας από τα καπναέρια σε θερμοκρασία T (

σημείο 5). Αντίθετα η θερμοκρασία των καπναερίων που ρέουν στο εξωτερικό μέρος των αυλών ελαττώνεται από τη θερμοκρασία T_2 στη θερμοκρασία T_3 .

Έτσι λοιπόν έχοντας αυτά ως δεδομένα, θα εφαρμόσουμε τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη θερμαινόμενη επιφάνεια του υπερθερμαντήρα, και η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.69)$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{max} = T_2 - T \quad (2.70)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{max} = 900^\circ\text{C} - 430^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T_{max} = 470^\circ\text{C}$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{min} = T_3 - T_s \quad (2.71)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{min} = 559^\circ\text{C} - 274^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta T_{min} = 285^\circ\text{C}$$

Επομένως :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = \frac{470^\circ\text{C} - 285^\circ\text{C}}{\ln \frac{470^\circ\text{C}}{285^\circ\text{C}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = 370^\circ\text{C}$$

Για να υπολογίσουμε λοιπόν την θερμαινόμενη επιφάνεια του υπερθερμαντήρα, χρησιμοποιούμε τη σχέση μετάδοσης θερμότητας λόγω συναγωγής :

$$Q_{\dot{u}} = K \cdot F_{\dot{u}} \cdot (\Delta T_m)_{log} \Rightarrow F_{\dot{u}} = \frac{Q_{\dot{u}}}{K \cdot (\Delta T_m)_{log}} \quad (2.72)$$

$$\Rightarrow F_{\dot{u}} = \frac{6,80 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{25 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 370^\circ\text{C}} \Rightarrow F_{\dot{u}} = 735 \text{ m}^2$$

4.30 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΔΙΔΕΤΑΙ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ

Σε αυτό το τμήμα, τα καπναέρια έχουν φύγει από τον υπερθερμαντήρα με θερμοκρασία εξόδου T_3 και έχουν εισέλθει στο τελικό αυτό τμήμα που μελετάμε με την ίδια θερμοκρασία, δηλαδή $T_3 = 559^\circ\text{C}$. Αντίστοιχα η θερμοκρασία εξόδου του τελικού τμήματος T_4 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο του προθερμαντήρα νερού και είναι άγνωστη προς το παρόν. Έτσι τα καπναέρια προσφέρουν θερμότητα Q_2 για την ατμοποίηση του νερού. Η θερμότητα λοιπόν αυτή προκύπτει με βάση τις θερμότητες Q_D (συνολική θερμότητα για ατμοποίηση), Q_{af} (θερμότητα δι' ακτινοβολίας στον φλογοθάλαμο) και Q_1 (θερμότητα αρχικού τμήματος) οι οποίες είναι γνωστές από προηγούμενα βήματα :

$$Q_D = Q_{af} + Q_1 + Q_2 \quad \Rightarrow \quad Q_2 = Q_D - Q_{af} - Q_1 \quad (2.73)$$

$$\Rightarrow Q_2 = 27,24 \frac{\text{KCal}}{\text{h}} - 16,24 \frac{\text{KCal}}{\text{h}} - 7,36 \frac{\text{KCal}}{\text{h}} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_2 = 3,64 \cdot 10^6 \text{Kcal/h}$$

4.31 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Όπως προαναφέραμε στην ενότητα 4.30, η θερμοκρασία εξόδου του τελικού τμήματος T_4 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο του προθερμαντήρα. Η θερμοκρασία λοιπόν αυτή είναι μικρότερη από την θερμοκρασία εισόδου του τελικού τμήματος, καθώς τα καπναέρια προσφέρουν θερμότητα για την ατμοποίηση του νερού εντός των αυλών. Η θερμοκρασία λοιπόν αυτή υπολογίζεται με την βοήθεια της θερμότητας που αποδίδεται στο τελικό τμήμα σύμφωνα με τη σχέση :

$$Q_2 = (1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm} \cdot (T_3 - T_4) \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4 = T_3 - \frac{Q_2}{(1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm}} \quad (2.74)$$

$$\Rightarrow T_4 = 559^{\circ}\text{C} - \frac{3,64 \cdot 10^6 \frac{\text{KCal}}{\text{h}}}{(1-0,025) \cdot 4350 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 13,06 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}} \cdot 0,35 \frac{\text{KCal}}{\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4 = 371^{\circ}\text{C}$$

4.32 ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΕΛΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στη περίπτωση αυτή, αναφερόμαστε στο εσωτερικό μέρος των αυλών (που υπάρχει νερό σε κατάσταση βρασμού) και στο εξωτερικό μέρος των αυλών (που ρέουν τα καπναέρια). Στο εσωτερικό μέρος λοιπόν η θερμοκρασία T_s λόγω του βρασμού του νερού στο σημείο 4 στο κύκλο Rankine παραμένει διαρκώς σταθερή λόγω αλλαγής φάσης και ισούται με $T_s = 274^{\circ}\text{C}$. Αντίθετα η θερμοκρασία των καπναερίων που ρέουν στο εξωτερικό μέρος των αυλών ελαττώνεται από τη θερμοκρασία T_3 στη θερμοκρασία T_4 . Έτσι λοιπόν έχοντας αυτά ως δεδομένα, θα εφαρμόσουμε τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη θερμαινόμενη επιφάνεια του τελικού τμήματος, και η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.75)$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{max} = T_3 - T_s \quad (2.76)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{max} = 559^{\circ}\text{C} - 274^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T_{max} = 285^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{min} = T_4 - T_s \quad (2.77)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{min} = 371^{\circ}\text{C} - 274^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T_{min} = 97^{\circ}\text{C}$$

Επομένως :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = \frac{285^{\circ}\text{C} - 97^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{285^{\circ}\text{C}}{97^{\circ}\text{C}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = 174^{\circ}\text{C}$$

Για να υπολογίσουμε λοιπόν την θερμαινόμενη επιφάνεια του τελικού τμήματος, χρησιμοποιούμε τη σχέση μετάδοσης θερμότητας λόγω συναγωγής :

$$Q_2 = K \cdot F_2 \cdot (\Delta T_m)_{log} \Rightarrow F_2 = \frac{Q_2}{K \cdot (\Delta T_m)_{log}} \quad (2.78)$$

$$\Rightarrow F_2 = \frac{3,64 \cdot 10^6 \frac{KCal}{h}}{30 \frac{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}{K} \cdot 174^\circ C} \Rightarrow F_2 = 697 \text{ m}^2$$

4.33 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΔΙΔΕΤΑΙ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ ΝΕΡΟΥ

Σε αυτό το τμήμα, τα καπναέρια έχουν φύγει από το τελικό τμήμα με θερμοκρασία εξόδου T_4 και έχουν εισέλθει στον Προθερμαντήρα νερού με την ίδια θερμοκρασία, δηλαδή $T_4 = 371^\circ C$. Αντίστοιχα η θερμοκρασία εξόδου του Προθερμαντήρα T_5 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο του Καπνοδόχου και είναι άγνωστη προς το παρόν. Έτσι τα καπναέρια προσφέρουν θερμότητα Q_v για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού (προθέρμανση) από την θερμοκρασία $T_w = 153,24^\circ C$ (θερμοκρασία εισόδου στο σημείο 2), στην θερμοκρασία $T_0 = 176^\circ C$ (την οποία επιλέξαμε σαν θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον προθερμαντήρα στην ενότητα 4.21).

Επομένως λόγω της θερμοκρασίας εισόδου T_w του νερού στον προθερμαντήρα, η ενθαλπία στο σημείο αυτό θα ισούται με :

$$q_w = h_2 = 646,08 \frac{KJ}{h} \Rightarrow q_w = \frac{646,08 \frac{KJ}{h}}{4,187} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_w = 154,31 KCal/h$$

Αντίστοιχα λόγω της θερμοκρασίας εξόδου T_0 του νερού από τον προθερμαντήρα, όπως υπολογίστηκε προηγουμένος, η ενθαλπία εξόδου θα ισούται με :

$$q_0 = 178,06 KCal/h$$

Η θερμότητα λοιπόν Q_v προκύπτει με βάση την ατμοπαραγωγή D και την διαφορά ενθαλπίας μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου του νερού στον προθερμαντήρα και υπολογίζεται ως εξής :

$$Q_v = D_1 \cdot (q_0 - q_w) \quad (2.79)$$

$$\Rightarrow Q_v = 56791 \frac{Kg}{h} \cdot (178,06 \frac{Kcal}{Kg} - 154,31 \frac{Kcal}{Kg}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_v = 1,35 \cdot 10^6 Kcal/h$$

4.34 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ ΝΕΡΟΥ

Όπως προαναφέραμε στην ενότητα 4.33, η θερμοκρασία εξόδου του Προθερμαντήρα T_5 είναι ίση με την θερμοκρασία στην είσοδο της Καπνοδόχου. Η θερμοκρασία λοιπόν αυτή είναι μικρότερη από την θερμοκρασία εισόδου του Προθερμαντήρα, καθώς τα καπναέρια προσφέρουν θερμότητα για την προθέρμανση του νερού. Η θερμοκρασία λοιπόν αυτή υπολογίζεται με την βοήθεια της θερμότητας που αποδίδεται στον Προθερμαντήρα νερού σύμφωνα με τη σχέση :

$$Q_v = (1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm} \cdot (T_4 - T_5)$$

$$\Rightarrow T_5 = T_4 - \frac{Q_v}{(1 - X_C) \cdot B \cdot V_R \cdot C_{pm}} \quad (2.80)$$

$$\Rightarrow T_5 = 371^\circ C - \frac{1,35 \cdot 10^6 \frac{KCal}{h}}{(1 - 0,025) \cdot 4350 \frac{Kg}{h} \cdot 13,06 \frac{Nm^3}{Kg} \cdot 0,34 \frac{KCal}{Nm^3 \cdot ^\circ C}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_5 = 299^\circ C$$

4.35 ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ ΝΕΡΟΥ

Στο Προθερμαντήρα λοιπόν η θερμοκρασία του νερού κατά τη προθέρμανση, μεταβαίνει από την θερμοκρασία T_w στην θερμοκρασία T_0 λόγω προσφοράς θερμότητας από τα καπναέρια. Αντίθετα η θερμοκρασία των καπναερίων που ρέουν στο εξωτερικό μέρος των αυλών ελαττώνεται από τη θερμοκρασία T_4 στη θερμοκρασία T_5 .

Έτσι λοιπόν έχοντας αυτά ως δεδομένα, θα εφαρμόσουμε τη μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη θερμαινόμενη επιφάνεια του προθερμαντήρα νερού, και η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.81)$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{max} = T_4 - T_0 \quad (2.82)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{max} = 371^{\circ}\text{C} - 176^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T_{max} = 195^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Όπου: } \Delta T_{min} = T_5 - T_w \quad (2.83)$$

$$\Rightarrow \Delta T_{min} = 299^{\circ}\text{C} - 153,24^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T_{min} = 146^{\circ}\text{C}$$

Επομένως :

$$(\Delta T_m)_{log} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = \frac{195^{\circ}\text{C} - 146^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{195^{\circ}\text{C}}{146^{\circ}\text{C}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\Delta T_m)_{log} = 169^{\circ}\text{C}$$

Για να υπολογίσουμε λοιπόν την θερμαινόμενη επιφάνεια του υπερθερμαντήρα, χρησιμοποιούμε τη σχέση μετάδοσης θερμότητας λόγω συναγωγής :

$$Q_v = K \cdot F_v \cdot (\Delta T_m)_{log} \Rightarrow F_v = \frac{Q_v}{K \cdot (\Delta T_m)_{log}} \quad (2.84)$$

$$\Rightarrow F_v = \frac{1,35 \cdot 10^6 \frac{\text{KCal}}{\text{h}}}{18 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 169^{\circ}\text{C}} \Rightarrow F_v = 444 \text{ m}^2$$

4.36 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟ

Η Καπνοδόχος λοιπόν είναι και το τελευταίο στάδιο μελέτης της διαδρομής των καπναερίων στον λέβητα. Τα καπναέρια έχουν φύγει από τον προθερμαντήρα με θερμοκρασία εξόδου T_5 και έχουν εισέλθει στην Καπνοδόχο με την ίδια θερμοκρασία, δηλαδή $T_5 = T_R = 299$ °C. Στο σημείο αυτό λοιπόν, τα καπναέρια με την βοήθεια του ανεμιστήρα που είναι τοποθετημένος στην βάση της καπνοδόχου βγαίνουν στον περιβάλλον.

Επειδή η τελική θερμοκρασία προκύπτει αρκετά υψηλή, μπορούμε να αυξήσουμε την θερμοκρασία T_0 προθέρμανσης του νερού ή να τοποθετήσουμε προθερμαντήρα αέρα, ώστε να εξοικονομήσουμε σημαντικά ποσά θερμότητας.

4.37 ΕΙΔΙΚΗ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ

Η ειδική ατμοποίηση q ορίζεται ως ο λόγος της ατμοπαραγωγής προς το σύνολο των επιφανειών του ατμολέβητα F_D που συμμετέχουν στην ατμοποίηση. Επομένως :

$$q = \frac{D}{F_D} \quad (2.85)$$

Η συνολική επιφάνεια ατμοποίησης F_D ισούται με :

$$F_D = F_S + F_1 + F_2 \quad (2.86)$$

όπου : F_S = επιφάνεια φλογοθαλάμου
 F_1 = επιφάνεια αρχικού τμήματος
 F_2 = επιφάνεια τελικού τμήματος

Επομένως :

$$q = \frac{D_1}{F_D} \Rightarrow q = \frac{D_1}{F_S + F_1 + F_2} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow q = \frac{56791 \frac{Kg}{h}}{79,96m^2 + 288m^2 + 697m^2} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow q = 53,3 Kg/m^2 \cdot h$$

Από μελέτες που έχουν γίνει, η ειδική ατμοποίηση παίρνει τιμές :

- $q = 60$ έως $80 \text{ Kg/m}^2 \cdot h$ για οικονομική ατμοπαραγωγή
- $q = 80$ έως $100 \text{ Kg/m}^2 \cdot h$ για συνεχή ατμοπαραγωγή

Επομένως στη δικιά μας περίπτωση ισχύει ότι έχουμε οικονομική ατμοπαραγωγή.

4.38 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΕΩΣ

Εμείς λάβαμε αρχικά ως τιμή βαθμού απόδοσης $n = 0,85$. Τώρα θα πρέπει να επαληθεύσουμε την τιμή αυτή ώστε να δείξουμε ότι όντως τα αποτελέσματα που βρίσκαμε μέχρι τώρα ήταν ορθά. Για να γίνει λοιπόν αυτό, θα εφαρμόσουμε την σχέση που συνδέει το σύνολο των απωλειών για να βρούμε το βαθμό απόδοσης n . Άρα :

$$n = 100\% - X_A - X_B - X_C \quad (2.87)$$

όπου : X_A = Απώλειες των θερμών καπναερίων

X_B = Απώλειες από ατελή καύση του άνθρακα

X_C = Απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα

α) Απώλειες των θερμών καπναερίων X_A

Αυτές οι απώλειες οφείλονται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει κατά μήκος της καπνοδόχου μεταξύ των θερμών καπναερίων και του περιβάλλοντος.

Για να υπολογίσουμε τις απώλειες των θερμών καπναερίων X_A , θα εφαρμόσουμε την παρακάτω σχέση :

$$X_A = \frac{C_{pm} \cdot V_R \cdot (T_5 - T_l)}{Q} \quad (2.88)$$

$$\Rightarrow X_A = \frac{0,34 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 13,06 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}} \cdot (299^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{9571 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}} \Rightarrow X_A = 12,94\%$$

b) Απώλειες από ατελή καύση του άνθρακα X_B

Αυτές οι απώλειες οφείλονται στο γεγονός ότι κατά την καύση του καυσίμου, ένα μέρος του άνθρακα (C) μετατράπηκε λόγω ατελής καύσης σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Για να υπολογίσουμε τις απώλειες των από ατελή καύση του άνθρακα X_B , θα εφαρμόσουμε την παρακάτω σχέση :

$$X_B = \frac{p \cdot q_{CO} \cdot V_{R,tr}}{Q} \quad (2.89)$$

όπου : q_{CO} = θερμότητα που αποδίδει το CO όταν καίγεται προς CO_2

Επομένως :

$$X_B = \frac{p \cdot q_{CO} \cdot V_{R,tr}}{Q} \Rightarrow X_B = \frac{0,3\% \cdot 3040 \frac{Kcal}{Nm^3} \cdot 11,87 \frac{Nm^3}{Kg}}{9571 \frac{Kcal}{Kg}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow X_B = 1,13\%$$

c) Απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα X_C

Οι απώλειες από ακτινοβολία οφείλονται λόγω της εκπομπής ακτινοβολίας από την φλόγα και το ίδιο το καύσιμο στους αυλούς του φλογοθαλάμου και οι απώλειες από αγωγιμότητα οφείλονται λόγω μεταφοράς θερμότητας με αγωγή μεταξύ των τοιχωμάτων του.

Οι απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα λαμβάνονται :

$$X_C = 2,5$$

Αφού λοιπόν υπολογίσαμε όλες τις απώλειες στον ατμολέβητα, μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τον βαθμό απόδοσης n του αυτού :

$$n = 100\% - X_A - X_B - X_C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = 100\% - 12,94\% - 1,13\% - 2,5\% \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = 83,43\%$$

Ο βαθμός απόδοσης λοιπόν που βρήκαμε (ζητούμενος), είναι ελάχιστα χαμηλότερος από αυτόν που είχαμε αρχικά (ως δεδομένο).

4.39 ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΤΗΛΗΣ ΤΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Τα καπναέρια αφού εισέλθουν στην καπνοδόχο, τείνουν να ρέουν προς την έξοδο αυτής, καθώς όμως ανεβαίνουν ψύχονται και έτσι ελαττώνεται η θερμοκρασία τους. Εμείς λοιπόν επειδή στη περίπτωση μας μιλάμε για κτιστή καπνοδόχο (κτισμένη από μπετό), οι τιμές που μπορούμε να επιλέξουμε για την διαφορά θερμοκρασίας ΔT μεταξύ βάσης και κορυφής της καπνοδόχου που μειώνεται ανά μέτρο της απόστασης αυτής, ισούται με :

$$\Delta T = 0,3 \text{ έως } 0,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{m}$$

Εμείς θα επιλέξουμε την τιμή :

$$\Delta T = 0,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{m}$$

Θα θεωρήσουμε ότι η θερμοκρασία των καπναερίων T_R , είναι η θερμοκρασία που έχουνε τα καπναέρια στη βάση της καπνοδόχου. Έτσι η θερμοκρασία στη κορυφή της καπνοδόχου θα ισούται με :

$$T_K = T_R - \Delta T \cdot h_0 \quad (2.90)$$

$$\Rightarrow T_K = 299^{\circ}\text{C} - 0,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{m} \cdot 120^m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_K = 251^{\circ}\text{C}$$

όπου : $h_0 =$ ύψος καπνοδόχου

Επομένως η μέση θερμοκρασία της στήλης των καπναερίων T_{mR} θα ισούται με :

$$T_{mR} = \frac{T_R + T_K}{2} \quad (2.91)$$

$$\Rightarrow T_{mR} = \frac{299^{\circ}\text{C} + 251^{\circ}\text{C}}{2} \Rightarrow T_{mR} = 275^{\circ}\text{C}$$

4.40 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Αρχικά θα υπολογίσουμε την συνολική ποσότητα των καπναερίων υπό κανονικές συνθήκες, εφαρμόζοντας την σχέση :

$$\dot{V}_R = \dot{B} \cdot V_R \quad (2.92)$$

$$\Rightarrow \dot{V}_R = 4350 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 13,06 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Kg}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{V}_R = 56811 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Ο χώρος που καταλαμβάνουν τα καπναέρια στην έξοδο της καπνοδόχου υπό μη κανονικές συνθήκες, ανά ώρα, λόγω υψηλής θερμοκρασίας, υπολογίζεται ως εξής :

$$\dot{Q}_{\varepsilon\xi} = \dot{V}_R \cdot \frac{273 + T_{\kappa}}{273} \quad (2.93)$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\varepsilon\xi} = 56811 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cdot \frac{273 + 251^{\circ}\text{C}}{273} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\varepsilon\xi} = 109044 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.41 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ

Στην μελέτη που πραγματοποιούμε έχουμε θεωρήσει ότι η διάμετρο d στην κορυφή της καπνοδόχου είναι ίση με την διάμετρο στην βάση αυτής. Επομένως η διάμετρος της καπνοδόχου είναι σταθερή καθ' ύψος αυτής και υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση :

$$d = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{\dot{Q}_{\varepsilon\xi}}{u}} \quad (2.94)$$

$$\Rightarrow d = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{109044 \frac{m^3}{h}}{14 \frac{m}{s}}} \Rightarrow d = 1,6 m$$

4.42 ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΙ ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Ο χώρος που καταλαμβάνουν τα καπναέρια στην βάση της καπνοδόχου υπό μη κανονικές συνθήκες, ανά ώρα, λόγω υψηλής θερμοκρασίας, όπου εκεί τοποθετείται φυγοκεντρικός ανεμιστήρας, υπολογίζεται ως εξής :

$$Q'_{\epsilon\iota\sigma} = \dot{V}_R \cdot \frac{273 + T_R}{273} \quad (2.95)$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\epsilon\iota\sigma} = 56811 \frac{Nm^3}{h} \cdot \frac{273 + 299^\circ C}{273} \Rightarrow Q'_{\epsilon\iota\sigma} = 119032 m^3/h$$

Έχουμε λάβει ως δεδομένο, ότι η πτώσης πίεσης σε όλη τη διαδρομή των καπναερίων (από το σημείο του φλογοθαλάμου έως την κορυφή της καπνοδόχου) ισούται με :

$$P_1 + P_2 = 1200 Pa$$

Ο φυσικός ελκυσμός h_{st} όπως αναλύσαμε και στο Κεφάλαιο 1 υπολογίζεται από τη σχέση :

$$h_{st} = 273 \cdot h_0 \cdot \left[\frac{\gamma_l}{273 + T_l} - \frac{\gamma_R}{273 + T_{mR}} \right] \quad (2.96)$$

όπου : h_0 = ύψος καπνοδόχου

γ_l = ειδικό βάρος αέρα με υγρασία 1%

γ_R = ειδικό βάρος καπναερίων

Επομένως :

$$h_{st} = 273 \cdot h_0 \cdot \left[\frac{\gamma_l}{273 + T_l} - \frac{\gamma_R}{273 + T_{mR}} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{st} = 273^K \cdot 120^m \cdot \left[\frac{1,28 \frac{kp}{Nm^3}}{273^K + 20^\circ C} - \frac{1,34 \frac{kp}{Nm^3}}{273^K + 275^\circ C} \right]$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow h_{st} &= 32760 \cdot \left[\frac{1,28 \frac{kp}{Nm^3}}{293} - \frac{1,34 \frac{kp}{Nm^3}}{548} \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow h_{st} &= 32760 \cdot \left[\frac{701,44}{160564} - \frac{392,62}{160564} \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow h_{st} &= 32760 \cdot (0,0019) \Rightarrow h_{st} = 62 \text{ mmH}_2\text{O} \Rightarrow \\ \Rightarrow h_{st} &= 62^{mmH_2O} \cdot 10^{\frac{Pa}{mmH_2O}} \Rightarrow h_{st} = 620 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Επομένως τώρα θα πρέπει να υπολογίσουμε και τον τεχνητό ελκυσμό H που οφείλεται στην υποβοήθηση του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα και ύστερα την ισχύ που θα πρέπει να έχει αυτός, για να μπορέσουνε τα καπναέρια να υπερνικήσουν τις απώλειες στη διαδρομή της καπνοδόχου και να εξέλθουν προς το περιβάλλον με την απαιτούμενη ταχύτητα.

Αρχικά λοιπόν θα εφαρμόσουμε την εξίσωση πιέσεων. Επομένως :

$$H + h_{st} = P_1 + P_2 + P_d \quad (2.97)$$

όπου : H = μανομετρικό του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα

h_{st} = φυσικός ελκυσμός

$P_1 + P_2$ = απώλειες σε όλη τη διαδρομή των καπναερίων

P_d = δυναμική πίεση στην κορυφή της καπνοδόχου

Επομένως μένει να υπολογίσουμε την δυναμική πίεση στην κορυφή της καπνοδόχου. Επομένως :

$$P_d = \rho \cdot \frac{u^2}{2} \quad (2.98)$$

όπου : ρ = πυκνότητα των καπναερίων στο στόμιο εξόδου της καπνοδόχου

Για να βρούμε την παραπάνω πυκνότητα ρ των καπναερίων, θα χρησιμοποιήσουμε την πυκνότητα ρ_0 σε κανονικές συνθήκες η οποία είναι ίση με το ειδικό βάρος των καπναερίων γ_R υπό τις ίδιες συνθήκες. Έτσι θα προκύψει η παρακάτω σχέση :

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{273}{273 + T_K} \quad (2.99)$$

$$\Rightarrow \rho = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + T_K} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho = 1,34 \frac{\text{Kg}}{\text{Nm}^3} \cdot \frac{273^{\circ\text{K}}}{273^{\circ\text{K}} + 251^{\circ\text{C}}}$$

$$\Rightarrow \rho = 1,34 \cdot 0,52 \Rightarrow \rho = 0,697 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Επομένως η δυναμική πίεση P_d στην κορυφή της καπνοδόχου θα ισούται:

$$P_d = \rho \cdot \frac{u^2}{2} \Rightarrow P_d = 0,697 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{14^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_d = 0,697 \cdot 98 \Rightarrow P_d = 68,31 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_d = 68,31 \text{ N/m}^2 \Rightarrow P_d = 68 \text{ Pa}$$

Οπότε τώρα είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το μανομετρικό του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα. Επομένως :

$$H + h_{st} = P_1 + P_2 + P_d \Rightarrow H + 620^{\text{Pa}} = 1200^{\text{Pa}} + 68^{\text{Pa}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow H = 648 \text{ Pa} \Rightarrow H = 64,8 \text{ mmH}_2\text{O}$$

4.43 ΙΣΧΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Για να υπολογίσουμε την ισχύ N του κινητήρα του ανεμιστήρα καπναερίων, θα πρέπει να προσθέσουμε και μία προσαύξηση κατά 20% στην ισχύ αυτή, για να μην υπάρξει πρόβλημα υπερφόρτισης του κινητήρα. Έτσι για αυτή την περίπτωση θα εφαρμόσουμε την παρακάτω σχέση :

$$N = 1,20 \frac{Q_{\text{εισ}} \cdot H}{10^3 \cdot 367 \cdot \eta} \quad (2.100)$$

όπου : $Q_{\text{εισ}}$ = παροχή καπναερίων στη βάση της καπνοδόχου

H = μανομετρικό του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα

η = βαθμός απόδοσης ανεμιστήρα

Επομένως :

$$N = 1,20 \frac{Q_{\text{εισ}} \cdot H}{10^3 \cdot 367 \cdot \eta} \Rightarrow N = 1,20 \frac{119032 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 64,8 \text{mmH}_2\text{O}}{10^3 \cdot 367 \cdot 0,6} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = 42,03 \text{ KW}$$

Η παραπάνω ισχύς σε ίππους θα είναι :

$$N = 42,03 \text{ KW} \cdot 1,34 \Rightarrow N = 56,32 \text{ HP} \approx N = 56 \text{ HP}$$

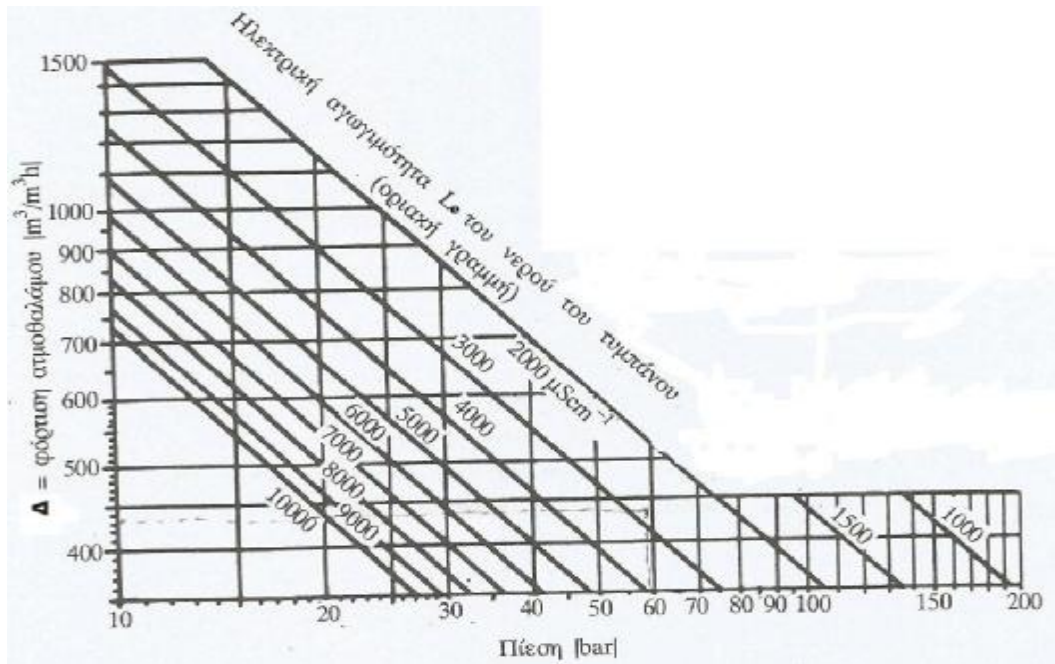
4.44 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΥΜΠΑΝΟΥ

Για να γίνει ο υπολογισμός των διαστάσεων του τυμπάνου, θα πρέπει αρχικά να χρησιμοποιήσουμε ως χαρακτηριστικό μέγεθος, την φόρτιση του ατμοθαλάμου Δ ως συνάρτηση της πίεσης $P_3 = P_4 = P_t$ του τυμπάνου και της περιεκτικότητας του νερού σε άλατα L_e , (που εκφράζεται συνήθως με την ηλεκτρική αγωγιμότητα). Η παραπάνω πίεση τυμπάνου P_t είναι σε μονάδες *bar* (σχετική πίεση) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού L_e είναι σε μονάδες μScm^{-1} (*micro - Siemens / cm*). (Παπαγεωργίου, 1991)

Ο υπολογισμός της φόρτισης του ατμοθαλάμου Δ υπολογίζεται με δύο τρόπους:

α) Με τη βοήθεια διαγράμματος

Από το βιβλίο του **N. Παπαγεωργίου, 1991**, δίνεται το παρακάτω Σχ. 4.5. Να αναφέρουμε ότι σε αυτό το σχήμα έχει γίνει μετατροπή των μεταβλητών (συμβόλων) από L σε L_e και από D σε Δ , όπου L_e η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και Δ η φόρτιση του ατμοθαλάμου.



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα εκλογής όγκου τυμπάνου

Από το παραπάνω σχήμα λοιπόν συμπεραίνουμε ότι για την πίεση τυμπάνου $P_t = 59 \text{ bar}$ (απόλυτη πίεση) αντιστοιχεί σε ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού $L_e = 2800 \mu\text{S}\text{cm}^{-1}$ και σε φόρτιση του αμοθαλάμου

$$\Delta = 440 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot \text{m}^3$$

β) Υπολογιστικός τρόπος

Σύμφωνα με το βιβλίο του **K. Strauss, 2009**, η φόρτιση του αμοθαλάμου Δ υπολογίζεται ως εξής :

$$\Delta = 264 \cdot P_t^{-0,7} \cdot L_e^{-0,61} \quad (2.101)$$

Θα μετατρέψουμε την απόλυτη πίεση τυμπάνου σε σχετική πίεση, αφαιρώντας την ατμοσφαιρική πίεση και έτσι λοιπόν θα ισχύει :

$$P_t = 59^{\text{bar}} - 1,013^{\text{bar}} \approx 58 \text{ bar} \quad (\text{Σχετική Πίεση}) \quad (2.102)$$

Από το βιβλίο του **N. Παπαγεωργίου, 1991**, δίνεται ο παρακάτω Πιν. 4.11 με τις ανώτατες επιτρεπτές τιμές περιεκτικότητας του νερού του Ατμοπαραγωγού σε άλατα σε σχέση με την πίεση λειτουργίας.

Πίνακας 4.11: Ανώτατη ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού στον Ατμοπαραγωγό

bar	μS/cm	bar	μS/cm	bar	μS/cm
10	10.000	70	2.100	130	200
20	8.000	80	1.600	140	130
30	6.500	90	1.000	150	80
40	5.000	100	700	160	50
50	4.000	110	500		
60	2.800	120	320		

Επομένως για την σχετική πίεση τυμπάνου $P_t = 58 \text{ bar}$ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού είναι $L_e \approx 2800 \mu S cm^{-1}$ και έτσι με τη σχέση (2.101) υπολογίζουμε το Δ και τελικά θα έχουμε :

$$\Delta = 264 \cdot (58^{bar})^{-0,7} \cdot (2800 \frac{\mu S cm}{cm})^{-0,61} \Rightarrow \Delta = 0,1215 \left(\frac{m^3}{s}\right) \cdot m^3$$

$$\Rightarrow \Delta = 0,1215 \left(\frac{m^3}{s}\right) \cdot m^3 \cdot 3600 \frac{s}{h} \Rightarrow \Delta = 437,4 \left(\frac{m^3}{h}\right) \cdot m^3$$

Επομένως παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές Δ είναι περίπου ίδιες. Εμείς θα κρατήσουμε τον δεύτερο υπολογισμό.

Σύμφωνα με το βιβλίο του **K. Strauss, 2009**, ο ελάχιστος όγκος του ατμοθαλάμου $V_{D(\min)}$ ισούτε με:

$$V_{D(\min)} = \frac{\dot{m}_D}{\rho_D \cdot \Delta} \quad (2.103)$$

όπου : $\dot{m}_D =$ μαζική παροχή ατμού
 $\rho_D =$ πυκνότητα ατμού

Επομένως η μαζική παροχή ατμού \dot{m}_D είναι σε μονάδες $\left(\frac{kg}{s}\right)$ και ισούται με την ατμοπαραγωγή D_1

$$\dot{m}_D = D_1 \quad (2.104)$$

Επομένως:

$$\dot{m}_D = 56,8 \left(\frac{t}{h}\right) \Rightarrow \dot{m}_D = \frac{56,8 \left(\frac{t}{h}\right) \cdot 10^3 \left(\frac{kg}{t}\right)}{3600 \left(\frac{s}{h}\right)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m}_D = 15,78 \text{ kg/s}$$

Η πυκνότητα του ατμού ρ_D είναι σε μονάδες $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$ και ισούται με αντίστροφο του ειδικού όγκου \hat{v}_4 (για το σημείο 4) ο οποίος λαμβάνεται από τον Πιν. 4.5 που υπολογίσαμε στο κύκλο Rankine και έτσι έχουμε:

$$\rho_D = \frac{1}{\hat{v}_4} \quad (2.105)$$

Επομένως:

$$\rho_D = \frac{1}{\frac{0,033 \text{ m}^3}{\text{kg}}} \Rightarrow \rho_D = 30,26 \text{ kg/m}^3$$

Έτσι λοιπόν υπολογίζουμε τη σχέση (2.103) και έχουμε:

$$V_{D(\min)} = \frac{\dot{m}_D}{\rho_D \cdot \Delta} \Rightarrow V_{D(\min)} = \frac{15,78 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{30,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,1215 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \cdot \text{m}^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{D(\min)} = 4,29 \text{ m}^3$$

Επομένως ο όγκος ατμοθαλάμου V_D δεν πρέπει να είναι μικρότερος από τον ελάχιστο όγκο ατμοθαλάμου $V_{D(\min)}$ (δηλαδή πρέπει να ισχύει $V_D > V_{D(\min)}$) διότι διαφορετικά θα πραγματοποιηθεί έντονος βρασμός του νερού και έτσι θα διαφεύγουν σταγονίδια νερού μαζί με τον ατμό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην υπόλοιπη εγκατάσταση. Για παράδειγμα μπορεί να έχουμε επικαθίσεις αλάτων που μεταφέρονται μαζί με σταγονίδια στα πτερύγια του στροβίλου.

$$\text{Άρα δεχόμαστε ότι } V_D = 5 \text{ m}^3 > V_{D(\min)} = 4,29 \text{ m}^3$$

Επειδή η στάθμη του νερού πρέπει να είναι στο μέσον του τυμπάνου, προκύπτει ο όγκος του τυμπάνου V_t θα είναι διπλάσιος του όγκου του ατμοθαλάμου. Δηλαδή ισχύει :

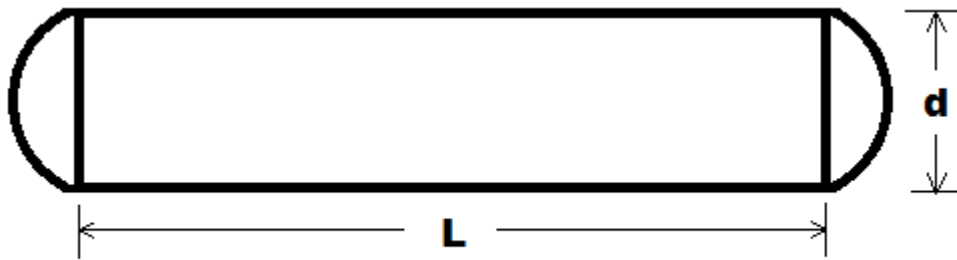
$$V_t = 2 \cdot V_D \quad (2.106)$$

Επομένως:

$$V_t = 2 \cdot 5 \text{ m}^3 \Rightarrow V_t = 10 \text{ m}^3$$

Να επισημάνουμε ότι όταν θα τοποθετηθούν οι πυθμένες του τυμπάνου, οι οποίοι έχουν ανάλογη γόβωση, ο όγκος του θα αυξηθεί πάνω από τα 5 m^3 και έτσι θα λειτουργεί καλύτερα.

Παρακάτω δίνεται το Σχ. 4.6 που απεικονίζει τις διαστάσεις τυμπάνου (μήκος L και διάμετρος d).



Σχήμα 4.6: Διαστάσεις τυμπάνου

Δεχόμαστε ότι η διάμετρος d του τυμπάνου ισούται με $d = 1,2 \text{ m}$. Για να υπολογίσουμε το μήκος L του τυμπάνου θα εφαρμόσουμε τη σχέση του όγκου του κυλίνδρου:

$$V_t = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad \Rightarrow \quad L = \frac{4 \cdot V_t}{\pi \cdot d^2} \quad (2.107)$$

Αντικαθιστούμε:

$$L = \frac{4 \cdot 10 \text{ m}^3}{\pi \cdot 1,2^2 \text{ m}^2} \quad \Rightarrow \quad L = 4,42 \text{ m} \approx 4,50 \text{ m}$$

4.45 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ ΤΥΜΠΑΝΟΥ

Σύμφωνα με το βιβλίο του **Ι. Στεργίου και Κ. Στεργίου, 2003**, το πάχος ελάσματος t του τυμπάνου υπολογίζεται από την σχέση:

$$t = \frac{P_t \cdot d}{2 \cdot \frac{K}{S_a} \cdot u_e + P_t} + C \quad (2.108)$$

όπου : P_t = Μέγιστη εσωτερική πίεση του τυμπάνου
 d = διάμετρος τυμπάνου

S_a = συντελεστής ασφαλείας
 K = Η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα
 u_e = ο συντελεστής εξασθενήσεως λόγω συγκολλήσεως
 C = η προσαύξηση του πάχους του ελάσματος

Η σχετική πίεση του τυμπάνου ισούται με:

$$P_t = 58^{atu} \Rightarrow P_t = 5,8 \text{ N/mm}^2$$

Η διάμετρος τυμπάνου d ισούται με:

$$d = 12^m \Rightarrow d = 1200\text{mm}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας S_a για δοχεία πίεσεως με εσωτερική πίεση θα τον λάβουμε υπόψη ως:

$$S_a = 1,5$$

Ο συντελεστής εξασθενήσεως u_e λόγω συγκολλήσεως θα ισούται με:

$$u_e = 0,8 \quad (\text{Έχουμε καλή ραφή με έλεγχο ποιότητας})$$

Η χαρακτηριστική αντοχή K του χάλυβα είναι εξαρτώμενη από την θερμοκρασία και προσδιορίζεται από τον Πιν. 4.12 που δίνεται από το βιβλίο του **I. Στεργίου και Κ. Στεργίου, 2003**, παρακάτω:

Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες

Υλικό	Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K σε N/mm^2 για $^{\circ}\text{C}$	20	50	100	120	160	200	250	300
Χυτοχάλυβες αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες DIN 17245	GS-C25	245	233	214	214	194	175	160	145
	GS-22 Mo 4	245	236	221	221	205	190	177	165
	GS-17 CrMo 5 5	315	305	288	288	271	255	242	230
	GS-18 CrMo 9 10	400	392	380	380	367	355	350	345
	GS-17 CrMo V 5 11	440	431	416	416	400	385	375	365
	G-X 8 CrNi 12	355	341	319	319	297	275	270	265
	G-X 22 CrMoV 12 1	590	575	550	550	525	500	485	470

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, επιλέγουμε υλικό, χυτοχάλυβα για υψηλές θερμοκρασίες κατά DIN 17245 με ονομασία **GS-17 CrMo 5 5**. Εφόσον βρισκόμαστε σε θερμοκρασία τυμπάνου ίση με $T_3 = T_4 = 274 \text{ }^\circ\text{C} \approx 275 \text{ }^\circ\text{C}$, θα πάρουμε μία μέση τιμή θερμοκρασίας, μεταξύ $250 \text{ }^\circ\text{C}$ και $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Άρα αντίστοιχα η χαρακτηριστική τιμή αντοχής K που θα επιλέξουμε θα είναι η μέση τιμή και θα υπολογιστεί ως εξής:

$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} \quad (2.109)$$

$$\Rightarrow K = \frac{242 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 230 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} \Rightarrow K = 236 \text{ N/mm}^2$$

Η προσαύξηση του πάχους του ελάσματος C δεχόμαστε ότι είναι:

$$C = 1 \text{ mm}$$

Επομένως τώρα υπολογίζουμε με την σχέση (2.108) το πάχος t και έτσι θα προκύψει:

$$t = \frac{5,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1200 \text{ mm}}{2 \cdot \frac{236 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,5} \cdot 0,8 + 5,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} + 1 \text{ mm} \Rightarrow t = 28 \text{ mm}$$

4.46 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ ΠΥΘΜΕΝΩΝ ΤΥΜΠΑΝΟΥ

Σύμφωνα με το βιβλίο του **I. Στεργίου και Κ. Στεργίου, 2003**, το πάχος ελάσματος t_1 των πυθμένων τυμπάνου υπολογίζεται από την σχέση:

$$t_1 = \frac{P_t \cdot d \cdot \beta}{4 \cdot \frac{K}{S_a} \cdot u_e} + C \quad (2.110)$$

όπου : P_t = Μέγιστη εσωτερική πίεση του τυμπάνου

d = διάμετρος τυμπάνου

S_a = συντελεστής ασφαλείας

K = Η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα

u_e = ο συντελεστής εξασθενήσεως λόγω συγκολλησεως

C = η προσαύξηση του πάχους του ελάσματος
 β = συντελεστής γόβωσης

Όπως προέκυψε και στο προηγούμενο βήμα, γνωρίζουμε ότι:

$$P_t = 5,8 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 1200 \text{ mm}$$

$$S_a = 1,5$$

Ο συντελεστής εξασθενήσεως u_e λόγω συγκολλήσεως θα ισούται με:

$$u_e = 1 \quad (\text{Για πρεσσαριστούς πυθμένες})$$

$$K = 236 \text{ N/mm}^2$$

$$C = 1 \text{ mm}$$

Ο συντελεστής γόβωσης β σύμφωνα με το βιβλίο του **Κ. Λέφα, 1982**,
πέρνει τιμές :

$$\beta = 2,9 \quad \text{για μικρή γόβωση}$$

$$\beta = 2,0 \quad \text{για βαθειά γόβωση}$$

$$\beta = 1,1 \quad \text{για ημισφαιρικούς πυθμένες}$$

Εμείς θα επιλέξουμε βαθειά γόβωση επομένως :

$$\beta = 2,0$$

Επομένως το πάχος ελάσματος t_1 των πυθμένων τυμπάνου προκύπτει:

$$t_1 = \frac{5,8 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 1200 \text{ mm} \cdot 2}{4 \cdot \frac{236 \text{ N/mm}^2}{1,5} \cdot 1} + 1 \text{ mm} \Rightarrow t_1 = 23 \text{ mm}$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προέκυψαν για αυτή την εργασία είναι (α) ότι παρόλο που το βαρύ πετρέλαιο θεωρείται ως ένας ορυκτός πόρος με υψηλό κόστος, είναι πολύ αποδοτικός δίνοντας μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας ώστε να λειτουργήσει σωστά και ικανοποιητικά η παραγωγική διαδικασία, (β) ότι αυτή η διαδικασία μελέτης θα βοηθήσει τον φοιτητή να μπορέσει αργότερα μετά το πέρας των σπουδών να ανταπεξέλθει σε τέτοιες καταστάσεις που έχουν να κάνουν με εγκαταστάσεις ατμοηλεκτρικών σταθμών σε διάφορα είδη βιομηχανιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βασαλά Π., Προγράμματα και δραστηριότητες περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, Εκδόσεις ΤΕΔΚ –ΚΙ, Κεφαλονιά και Ιθάκη, 2010, διαθέσιμο στο link : <http://www.env-edu.gr>
2. Γιανναδάκης Α., (2009 – 2010), Στροβιλομηχανές – Παραδόσεις Θεωρίας, Πανεπιστημιακές Διαλέξεις ΑΤΕΙ Πατρών - Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ.
3. Γιαννόπουλος Α., 2011, Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός Επίλυσης Ασκήσεων Πράξης, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
4. Δελίδης Κ., 2001, Τεχνική Θερμοδυναμική, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
5. Διαβάτης Η., Καρβέλης Ι., Κοτζαμπάσης Γ., 2011, Στοιχεία Σχεδιασμού Κεντρικών Θερμάνσεων, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια 2^{ος} κύκλος, Γ' ΕΠΑ.Λ., Εκδόσεις « Διόφαντος », Αθήνα, διαθέσιμο στο link : <http://ebooks.edu.gr>
6. Λέφα Κ., Εστίες και Ατμοπαραγωγοί, Τόμοι Ι, ΙΙ, ΙΙΙ, Πάτρα, 1982
7. Νόμπελης Φ. Ζ., Χημεία για Τεχνολόγους, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, Β' Έκδοση, 2006
8. Παπαγεωργίου Ν., 1991, ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ Ι - Γενικές Αρχές, Εκδόσεις Συμεών, Έκδοση 2η
9. Σαββάκης Κ. Ε., 2002, Χημική Τεχνολογία – Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Β' Έκδοση
10. Στεργίου Ι. και Στεργίου Κ., 2003, Στοιχεία Μηχανών Ι, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα
11. Strauss K., 2009, Kraftwerkstechnik, 6. aktualisierte Auflage, Springer - Verlag, Berlin