

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 5MW ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΑΤΖΕΛΗΣ(Α.Μ. 4648)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2014**

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων μηχανικών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο θα υπολογιστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ατμοπαραγωγού ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού, με καύσιμο βιομάζα (πυρηνόξυλο κυρίως) και φυσικό αέριο. Τα καύσιμα αυτά είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στους μεγάλους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς στη χώρα μας.

Στην αρχή αναφέρονται κάποιες γενικές πληροφορίες σχετικά με τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς και τα επιμέρους τμήματά τους. Στην συνέχεια στο πρώτο μέρος γίνονται οι υπολογισμοί για τον ατμοπαραγωγό της μονάδας, με καύσιμο το πυρηνόξυλο, αφού αναφερθούν κάποιες πληροφορίες σχετικές με αυτό το καύσιμο και στο δεύτερο μέρος αντίστοιχα για το φυσικό αέριο. Στο τέλος δίνονται κάποιες γενικές πληροφορίες για τον ατμοστρόβιλο της μονάδας και την ηλεκτρογεννήτρια της.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου πρόσφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Κωνσταντίνος Χατζέλης

Απρίλιος 2014

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση 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

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στη μελέτη ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού, ισχύος 5MW, ο οποίος χρησιμοποιεί σαν καύσιμα το πυρηνόξυλο και το φυσικό αέριο. Κυρίως μελετάται ο ατμοπαραγωγός του σταθμού και γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί ώστε να προσδιοριστεί ο τύπος, οι διαστάσεις και διάφορα χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων του.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε δύο μέρη: το πρώτο μέρος αφορά την καύση του πυρηνόξυλου και το δεύτερο την καύση του φυσικού αερίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο του πρώτου μέρους δίνονται πληροφορίες σχετικές με το πυρηνόξυλο, πως παράγεται, διάφορα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματά του κτλ.

Στο δεύτερο κεφάλαιο υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη του πυρηνόξυλου, που είναι καθοριστικής σημασίας για τη συνέχεια, όπως επίσης και τα θερμοδυναμικά μεγέθη των διαφόρων σημείων του διαγράμματος υδρατμών (Rankine). Ύστερα υπολογίζεται η ποσότητα του ατμού που πρέπει να παράγεται για να λειτουργεί η μονάδα, η κατανάλωση του καυσίμου, η ελάχιστη ποσότητα του αέρα καύσης και η ποσότητα των καπναερίων που εκλύονται.

Στο τρίτο κεφάλαιο υπολογίζεται η εστία του ατμολέβητα, δηλαδή οι απαιτούμενες διαστάσεις της εσχάρας της, ο όγκος, το ύψος και η επιφάνεια οριζοντίου διατομής του φλογοθαλάμου. Επίσης υπολογίζεται η ακτινοβολούμενη επιφάνεια του φλογοθαλάμου, η θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία σε αυτόν και τέλος η πραγματική θερμοκρασία που αναπτύσσεται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υπολογίζονται οι επιφάνειες των επιμέρους τμημάτων του Ατμοπαραγωγού: του αρχικού τμήματος, του υπερθερμαντήρα ατμού, του τελικού τμήματος και του προθερμαντήρα νερού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο υπολογίζεται ο φυσικός ελκυσμός της καπνοδόχου του ατμοπαραγωγού, ο πραγματικός όγκος των καπναερίων, οι διαστάσεις της καπνοδόχου (διάμετρος κορυφής και βάσης), η παροχή, το μανομετρικό και η ισχύς του ανεμιστήρα των καπναερίων.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο του πρώτου μέρους υπολογίζεται η ποσότητα των επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων, η ποσότητα του νερού της στρατσώνας, η ποσότητα του εισερχόμενου στον ατμοπαραγωγό νερού, η απαιτούμενη ποσότητα

του τροφοδοτικού νερού ,η ισχύς της αντλίας του τροφοδοτικού νερού, η ποσότητα του νερού αποσκλήρυνσης (από αναγέννηση σε αναγέννηση), η απαιτούμενη ποσότητα ρητίνης που πρέπει να έχει ο κάθε αποσκλήρυντής και η ποσότητα αναγεννητικών διαλυμάτων.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, δίνονται κάποιες γενικές πληροφορίες για το φυσικό αέριο και ακολουθούν οι σχετικοί με την καύση του υπολογισμοί.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.Περί Ατμοηλεκτρικών Σταθμών.....	8
2.Δεδομένα υπολογισμών.....	10

## ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>, ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΥΣΗ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ

### 1.ΤΟ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ

1.1 Γενικά.....	13
-----------------	----

### 2.ΚΑΥΣΗ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΣ

2.1 Γενικά.....	15
2.2 Θερμογόνος δύναμη πυρηνοξύλου.....	15
2.3 Διάγραμμα υδρατμών.....	17
2.4 Διαφορά ενθαλπίας εξερχόμενου ατμού μείον εισερχόμενου νερού.....	22
2.5 Ποσότητα παραγόμενου ατμού.....	22
2.6 Υπολογισμός θερμότητας για παραγωγή 1 kg ατμού.....	23
2.7 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου.....	23
2.8 Ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης .....	24
2.9 Ποσότητα υγρών καπναερίων.....	25

2.10 Πραγματική ποσότητα καπναερίων.....	25
--	----

### **3.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΣΤΙΑΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ**

3.1 Γενικά.....	26
3.2 Διαστασιολόγηση εσχάρας.....	27
3.3 Όγκος φλογοθαλάμου.....	28
3.4 Επιφάνεια οριζοντίου διατομής φλογοθαλάμου.....	28
3.5 Ακτινοβολούμενη επιφάνεια φλογοθαλάμου.....	29
3.6 Θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία στο φλογοθάλαμο.....	30
3.7 Πραγματική θερμοκρασία φλογοθαλάμου.....	31

### **4.ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ**

4.1 Γενικά.....	32
4.2 Θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία στο φλογοθάλαμο.....	32
4.3 Συνολική θερμότητα προσδιδόμενη για ατμοποίηση.....	33
4.4 Υπολογισμοί αρχικού τμήματος.....	34
4.5 Υπολογισμοί υπερθερμαντήρα ατμού.....	36
4.6 Υπολογισμοί τελικού τμήματος του ατμολέβητα.....	38
4.7 Υπολογισμοί προθερμαντήρα νερού.....	41

### **5.ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΣ**

5.1 Γενικά.....	43
5.2 Φυσικός ελκυσμός καπνοδόχου.....	44
5.3 Πραγματικός όγκος καπναερίων.....	45
5.4 Διάμετρος κορυφής και βάσης καπνοδόχου.....	46
5.5 Παροχή και μανομετρικό ανεμιστήρα καπναερίων.....	47
5.6 Ισχύς ανεμιστήρα καπναερίων.....	50

## **6. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ ΝΕΡΟ**

6.1 Γενικά.....	51
6.2 Ποσότητα επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων.....	52
6.3 Ποσότητα νερού στρατσώνας.....	52
6.4 Ποσότητα τροφοδοτικού νερού που εισέρχεται στο λέβητα.....	54
6.5 Ποσότητα αντλούμενου νερού.....	55
6.6 Ισχύς αντλίας τροφοδοτικού νερού.....	55
6.7 Ποσότητα νερού αποσκληρυντών από αναγέννηση σε αναγέννηση.....	57
6.8 Ποσότητα ρητίνης που πρέπει να έχει ο κάθε αποσκληρυντής.....	58
6.9 Ποσότητα αναγεννητικών διαλυμάτων.....	60

## **ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>, ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

### **1. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ**

1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	62
-----------------	----

### **2. ΚΑΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

2.1 Ποσότητα αέρα καύσης.....	64
2.2 Ποσότητα καπναερίων.....	65
2.3 Απώλειες θερμότητας λόγω ατελούς καύσης.....	67
2.4 Απώλειες θερμότητας λόγω θερμών καπναερίων που αποβάλλονται στην καπνοδόχο.....	67
2.5 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου.....	68

<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>69</b>
--------------------------	-----------

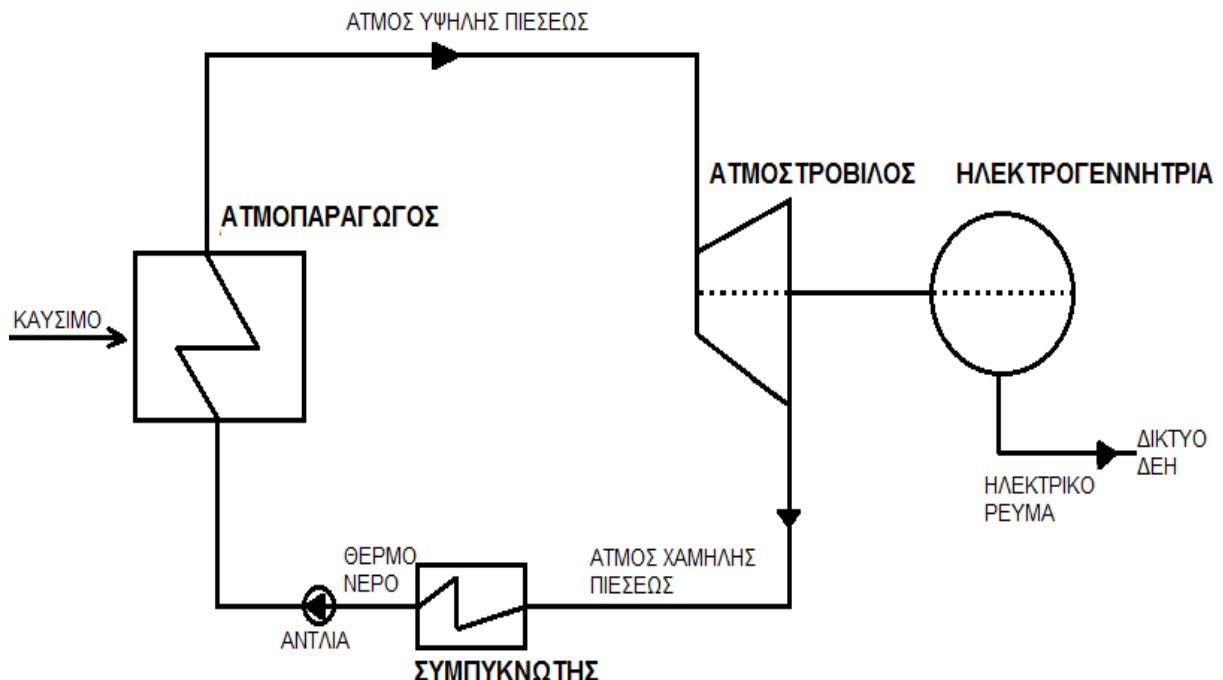
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>70</b>
--------------------------	-----------

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. ΠΕΡΙ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Ατμοηλεκτρικός Σταθμός, είναι μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της καύσης κάποιου καυσίμου. Η χημική ενέργεια που προέρχεται από την καύση, μετατρέπεται σε θερμική, ύστερα σε μηχανική ενέργεια και τελικά σε ηλεκτρική. Η μονάδα που μελετάται αποτελείται από τρία τμήματα: Τον Ατμοπαραγωγό, τον Ατμοστροβίλο και την Ηλεκτρογεννήτρια. Στον ατμοπαραγωγό μέσω της καύσης των καυσίμων παράγεται ο ατμός, ο οποίος καθώς εκτονώνεται περιστρέφει τον άξονα του ατμοστροβίλου (ο ατμός χαμηλής πλέον πίεσης επιστρέφει σε έναν συμπυκνωτή, όπου και ψύχεται για να επιστρέψει στην δεξαμενή τροφοδοτικού νερού).

Ο άξονας του στροβίλου είναι συνδεδεμένος με μια γεννήτρια, από την περιστροφή της οποίας παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα και στη συνέχεια ο μετασχηματιστής μετατρέπει την τάση στο επιθυμητό επίπεδο, ώστε να διανεμηθεί τελικά στο δίκτυο της ΔΕΗ.



Σχήμα 1.1: Ατμοηλεκτρικός σταθμός

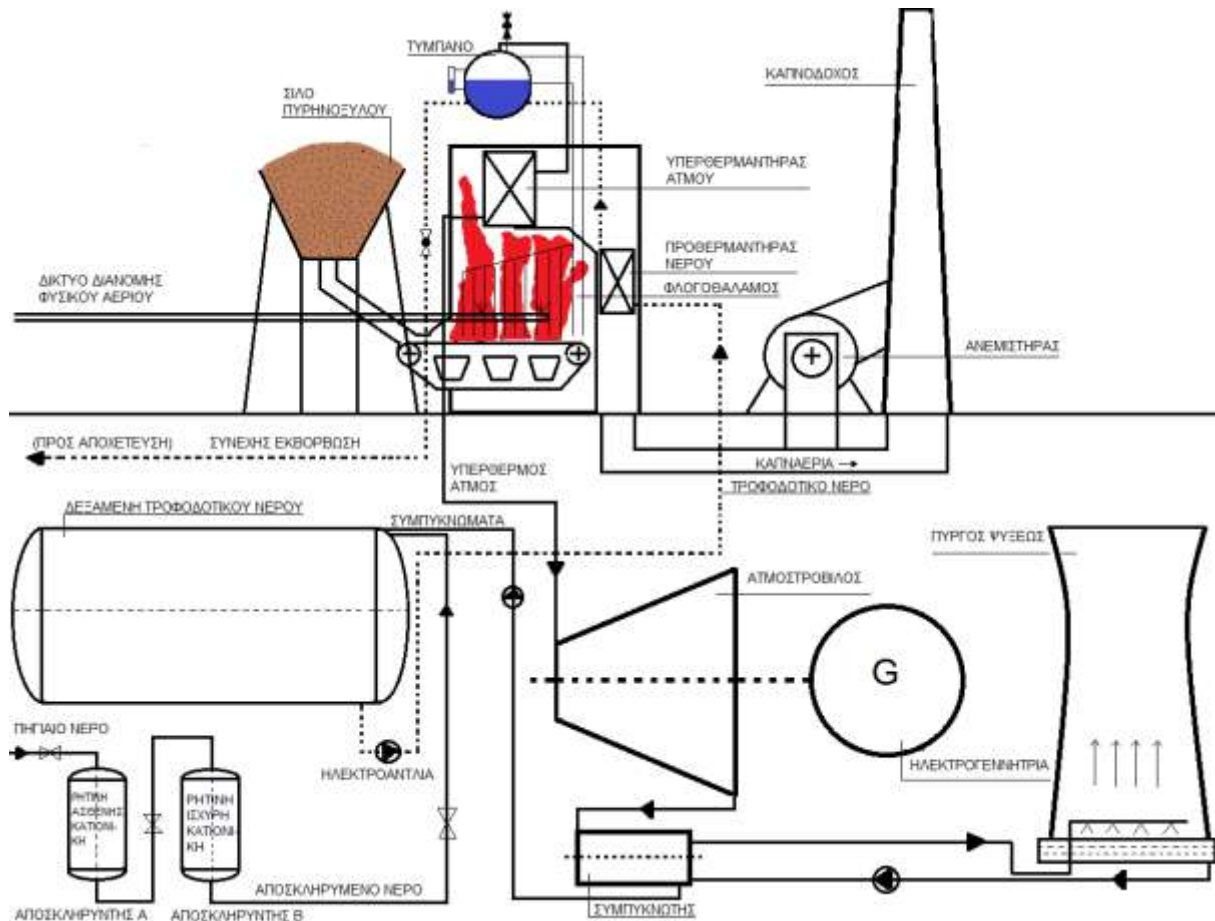


Ως προς το καύσιμο που χρησιμοποιούν οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί μπορεί να χωριστούν σε συμβατικούς(λιγνίτης, diesel, φυσικό αέριο, βιομάζα) και σε πυρηνικούς. Στην χώρα μας στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια της ΔΕΗ χρησιμοποιούνται κυρίως εγχώριοι λιγνίτες, αλλά υπάρχουν και μονάδες που καίνε diesel, φυσικό αέριο κτλ. Σχετικά με τον τρόπο ψύξης, χρησιμοποιούνται είτε μόνο συμπυκνωτές που χρησιμοποιούν ποταμίσιο ή θαλάσσιο νερό, είτε συνδυασμός συμπυκνωτών και μεγάλων πύργων ψύξης, με αύξηση βέβαια στο κόστος, άρα μείωση της συνολικής απόδοσης.

Γίνεται κατανοητό ότι κριτήριο για την επιλογή της θέσης ενός ΑΗΣ, αποτελεί η απόσταση από το χώρο που διατίθεται το καύσιμο που χρησιμοποιείται, η οποία καθορίζει και το κόστος της μεταφοράς του προς τη μονάδα, άρα και της συνολικής λειτουργίας της (οι ΑΗΣ της ΔΕΗ, βρίσκονται ακριβώς στον χώρο εξόρυξης του λιγνίτη). Επίσης μεγάλο ρόλο παίζουν και οι όποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να προκληθούν καθώς και η πιθανή ενόχληση των κατοίκων κοντινών στη μονάδα χωριών-πόλεων.

Μια κατάλληλη τοποθεσία για την μονάδα που μελετάται στο παρόν τεύχος, είναι σε κάποια βιομηχανική ζώνη, ενός ελαιοπαραγωγικού νομού, ώστε να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση τα πυρηνελαιουργεία από τα οποία θα προμηθεύεται το πυρηνόξυλο που θα χρησιμοποιηθεί. οπότε το κόστος μεταφοράς του πυρηνόξυλου προς την μονάδα είναι πολύ μικρό, κάτι το οποίο θα επηρεάσει θετικά τα αποτελέσματα χρήσης της. Το φυσικό αέριο, λαμβάνεται από το δίκτυο διανομής φυσικού αερίου.

Στο σχ.1.2 φαίνεται αναλυτικότερα η διάταξη της μονάδας. Κοντά στον ατμοπαραγωγό βρίσκεται η δεξαμενή τροφοδοτικού νερού, το σύστημα αποσκήρυνσής του, αποτελούμενο από δύο μικρές δεξαμενές που περιέχουν ρητίνη, καθώς και οι χώροι αποθήκευσης των καυσίμων. Το πυρηνόξυλο διοχετεύεται στον λέβητα, μέσω ενός σιλό, ενώ το φυσικό αέριο βρίσκεται σε ειδική δεξαμενή. Το νερό της στρατσώνας (διαδικασία κατά την οποία αποβάλλεται νερό από το τύμπανο του ατμολέβητα, ώστε να παραμένει η συγκέντρωση αλάτων στα επιθυμητά όρια), οδηγείται στην αποχέτευση. Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από τον ατμοστρόβιλο, τον συμπυκνωτή και τον πύργο ψύξης. Στο τρίτο τμήμα της εγκατάστασης βρίσκεται η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής.



**Σχήμα 1.2:** Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με ατμοπαραγωγό και σύστημα αποσκλήρυνσης νερού.

## 2.ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Οι υπολογισμοί της παρούσας εργασίας θα γίνουν με τα εξής δεδομένα: Η ισχύς της μονάδας που μελετάται, είναι 5MW. Ο ατμολέβητας θα παράγει υπέρθερμο ατμό πίεσεως  $P=40\text{bar}$  και θερμοκρασίας  $T=450^\circ\text{C}$ . Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου, για καύση πυρηνοξύλου εκτιμάται σε:  $\eta_i=0,85$ . Ο βαθμός απόδοσης του ατμοστροβίλου είναι  $\eta_T=0,95$  και της ηλεκτρογεννήτριας  $\eta_G=0,98$ .

Ο ατμός αφού χρησιμοποιηθεί από τον ατμοστρόβιλο, επιστρέφει στον λέβητα, με τη μορφή συμπυκνώματος, υπό πίεση  $0,2\text{bar}$ . Η αντλία του τροφοδοτικού νερού ανεβάζει την πίεση του νερού στα  $42\text{bar}$ .

Ο ατμοπαραγωγός είναι όπως όλοι οι ατμολέβητες ακτινοβολίας, δηλαδή υδραυλωτός με κατακόρυφους αυλούς εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi=82,9\text{mm}$ , περιμετρικά του φλογοθαλάμου, σε επαφή με το τοίχωμά του. Διαθέτει προθερμαντήρα νερού και υπερθερμαντήρα ατμού. Η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδο του υπερθερμαντήρα είναι  $450^{\circ}\text{C}$  και η πίεση στην έξοδο του υπερθερμαντήρα είναι μικρότερη κατά 2 bar, σε σχέση με την πίεση, του τυμπάνου(42 bar). Η επιθυμητή θερμοκρασία της εξόδου των καυσαερίων από το τμήμα που βρίσκεται ο υπερθερμαντήρας είναι  $900^{\circ}\text{C}$ , για λόγους προστασίας των μετάλλων του.

Τα καυσαέρια διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα μέσω καπνοδόχου κτισμένης με τούβλα ύψους 30m και με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Η ταχύτητά τους στο στόμιο εξόδου της καπνοδόχου είναι 10m/s, για την καλύτερη διάχυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Επίσης για επίτευξη ομαλής λειτουργίας του λέβητα, οι συνολικές απώλειες πίεσης σε όλη τη διαδρομή των καπναερίων, δεν υπερβαίνουν τα 1200pa.

Η καύση του πυρηνοξύλου γίνεται με περίσσεια αέρα  $\lambda=40\%$ .

Η ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας είναι:  $r_f=1,4 \cdot 10^6 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ .

Η ειδική φόρτιση ανά μονάδα πλάτους είναι:  $q_b=4 \cdot 8 \cdot 10^6 \text{ kcal/m} \cdot \text{h}$ .

Η ειδική φόρτιση ανά μονάδα όγκου είναι:  $q_v=0,4 \cdot 10^6 \text{ kcal/m}^3$ .

Η ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφανείας οριζοντίου διατομής είναι:

$$q_f=1,6 \cdot 10^6 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{h}.$$

Οι απώλειες ακτινοβολίας και αγωγιμότητας όλων των επιμέρους τμημάτων του λέβητα είναι  $x_c=2,5\%$ .

Ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας σε όλα τα επιμέρους τμήματα του λέβητα είναι  $K=32 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

Η μέση ειδική θερμότητα των καπναερίων πυρηνοξύλου είναι  $c_{pm}=0,39 \text{ kcal/Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

Η πυκνότητα των καπναερίων πυρηνοξύλου στους  $0^{\circ}\text{C}$ , είναι  $\gamma_{R0}=1,28 \text{ kg/m}^3$

και στους  $224,6^{\circ}\text{C}$ , είναι  $\gamma_R=0,74 \text{ kg/m}^3$ . Επειδή η αριθμητική τιμή της πυκνότητας ισούται με αυτή του ειδικού βάρους, οι παραπάνω τιμές ισχύουν και για το ειδικό βάρος των καπναερίων πυρηνοξύλου.

Το ειδικό βάρος του αέρα με υγρασία 1% στους  $0^{\circ}\text{C}$ , είναι  $\gamma_L=1,28 \text{ kp/Nm}^3$

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $20^{\circ}\text{C}$ .

Το ποσοστό των απωλειών του παραγόμενου ατμού είναι 3%.

Η απόδοση της αντλίας νερού είναι 70%.

Η συγκέντρωση πυριτικών στο αντλούμενο νερό είναι 8ppmSiO<sub>2</sub>, η ολική σκληρότητά του TH=20°DH και η αλκαλικότητά του 6mval/lit.

Σαν όριο πυριτικών στο τύμπανο του Ατμοπαραγωγού καθορίζεται η τιμή των 10ppmSiO<sub>2</sub>.

Η συνολική διάρκεια μεταξύ των αναγεννήσεων του συστήματος αποσκλήρυνσης είναι 24 ώρες.

Ο τύπος της ρητίνης στον αποσκληρυντή Α είναι: 40grCaO/lit με απόδοση 93% και στον αποσκληρυντή Β: 50grCaO/lit με απόδοση 97%.

Ο τύπος αναγεννητικού διαλύματος στον αποσκληρυντή Α είναι πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> περιεκτικότητας 96%κ.β. και στον αποσκληρυντή Β, αλατοδιάλυμα NaCl, πυκνότητας 22Be.

Η θερμοκρασία του πηγαίου νερού είναι 17°C.

## ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>

# ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΥΣΗ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ

## 1.ΤΟ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο ελαιοπυρήνας παράγεται σαν υποπροϊόν στα ελαιοτριβεία κατά την επεξεργασία των ελιών (ελαιόκαρπος) για την παραλαβή του ελαιολάδου. Η παραλαβή του ελαιολάδου στην συντριπτική πλειοψηφία των ελαιοτριβείων γίνεται με φυγοκέντριση σε φυγόκεντρος διαχωριστήρες δύο ή τριών φάσεων. Ο διφασικός διαχωριστήρας παράγει ελαιοπυρήνα υγρασίας 64%-68%, ενώ ο τριφασικός ελαιοπυρήνα υγρασίας 48%-54%. Και στις δύο περιπτώσεις ο ελαιοπυρήνας περιέχει ακόμη ελαιόλαδο της τάξης 8%-12% (επί ξηρού) που δεν παραλήφθηκε από την φυγοκέντριση.

Στη συνέχεια ο ελαιοπυρήνας μεταφέρεται στα Πυρηνελαιουργεία για να γίνει η παραλαβή του παραμένοντος ελαιολάδου (ακατέργαστο-μπρούτο πυρηνέλαιο), με την μέθοδο της εκχύλισης.

Στα τμήματα ξήρανσης των πυρηνελαιουργείων γίνεται η ξήρανση του ελαιοπυρήνα, ώστε η υγρασία του να κατέλθει στο 8%-10%. Η ξήρανση γίνεται σε ξηραντήρια (περιστρεφόμενοι κλίβανοι), όπου με τη βοήθεια μεταλλικών πτερυγίων “λικνίζεται” και έρχεται σε άμεση επαφή με θερμό ρεύμα αέρα που παράγεται από την ανάμιξη των καυσαερίων μίας εστίας καύσης πυρηνοξύλου, με αέρα του περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια στα τμήματα εκχύλισης των πυρηνελαιουργείων γίνεται η εκχύλιση του ξηρού πια ελαιοπυρήνα, για την απολαβή του πυρηνελαίου. Συνήθως χρησιμοποιείται ημισυνεχές σύστημα (στατικοί εκχυλιστήρες και συνεχές σύστημα απόσταξης) και για εκχυλιστικό υγρό (διαλύτης), χρησιμοποιείται καθαρό εξάνιο. Ο

διαλύτης διοχετεύεται στους εκχυλιστήρες και το μίγμα πυρηνελαίου-διαλύτη (μισέλα) που προκύπτει οδηγείται σε συνεχές αποστακτικό συγκρότημα όπου αποσταζόμενο αποδίδεται ο διαλύτης υπό αέρια μορφή και το πυρηνέλαιο υπό υγρή.

Μετά την απομάκρυνση του εξανίου-διαλύτη από τον εκχυλιστήρα, παραμένει μέσα σε αυτόν ο ξηρός εκχυλισμένος ελαιοπυρήνας (πυρηνόξυλο) που απομακρύνεται με τη βοήθεια ατμού, υπό μικρή πίεση.

Το πυρηνόξυλο αποτελείται:

- Από τον πυρήνα της ελιάς που είναι ξυλώδης και κατακερματισμένος
- Από το σαρκώδες μέρος-ψύχα της ελιάς (αποξηραμένη) υπό μορφή σκόνης
- Από την φλούδα του καρπού, επίσης υπό μορφή σκόνης

Με βάση υπάρχουσες αναλύσεις το ξυλώδες μέρος ανέρχεται περίπου στο 55% του βάρους του, ενώ το υπόλοιπο είναι η σκόνη (ψύχα και φλούδα). Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει και ένα ποσοστό λαδιού της τάξης 0,5%-1,2% (επί ξηρού), το οποίο δεν έχει παραληφθεί κατά την παραγωγική διαδικασία εκχύλισης στο Πυρηνελαιουργείο και παραμένει σαν υπόλειμμα λαδιού στο πυρηνόξυλο.

Το ειδικό βάρος του “χύδην” υλικού κυμαίνεται από 720-750kg/m<sup>3</sup> και η υγρασία του συνήθως από 12%-15%, με άνω όριο υγρασίας για ικανοποιητική καύση το 18%.

Από περιβαλλοντική άποψη είναι πολύ σημαντική η πολύ χαμηλή έως αμελητέα περιεκτικότητα του σε θείο και ότι το καύσιμο δεν περιέχει τοξικές ενώσεις ή βαρέα μέταλλα. Επίσης πολύ σημαντικό στοιχείο τόσο από λειτουργική όσο και περιβαλλοντική άποψη, είναι ότι η τέφρα είναι της τάξης του 3,5%-4,5%.

Σαν μειονεκτήματα μπορούν να αναφερθούν:

- Η μυρωδιά-οσμή του αποθηκευμένου καυσίμου (για αρκετό χρονικό διάστημα) που οφείλεται στις ζυμώσεις που διενεργούνται στο σαρκώδες μέρος (ψύχα) και αναδύονται κατά την αναμόχλευση του υλικού (φόρτωση, άδειασμα, μεταφορικές διατάξεις).
- Ο κίνδυνος αυτανάφλεξης, ειδικά όταν αποθηκεύεται σε σωρούς μεγάλου ύψους, λόγω της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο εσωτερικό του, πάλι λόγω ζυμώσεων του σαρκώδους μέρους. (Δημιουργείται όμως 1-2 μέρες μετά την εμφάνιση προειδοποιητικού καπνού στο συγκεκριμένο σημείο).
- Η δυσκολία ροής του υλικού, όταν αυτό αποθηκεύεται σε μεγάλα σιλό (πάνω από 1 m<sup>3</sup>) και έχει υγρασία άνω του 12%.
- Ο άσπρος καπνός (οπτική όχληση) που εμφανίζεται κατά την καύση, ο οποίος κατά κύριο λόγο οφείλεται στην υγρασία που περιέχει το καύσιμο και αποβάλλεται υπό μορφή υδρατμών.

Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα αεροδιαχωρισμού του ξυλώδους μέρους από το σαρκώδες (η διάθεση της ψύχας είναι δυνατή για άλλες χρήσεις, π.χ. συστατικό ζωοτροφών) και σε αυτή την περίπτωση όλα τα παραπάνω μειονεκτήματα δεν υφίστανται.

## **2. ΚΑΥΣΗ (ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΣ)**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα υπολογιστούν κάποια μεγέθη σχετικά με την καύση του καυσίμου στον φλογοθάλαμο, τα οποία θα χρησιμεύσουν στα επόμενα κεφάλαια, στους υπολογισμούς των τεχνικών χαρακτηριστικών του ατμολέβητα που μελετάται.

Αρχικά θα υπολογιστεί η θερμογόνος δύναμη πυρηνοξύλου, θα φτιαχτεί το διάγραμμα Υδρατμών T-s, η ύπαρξη του οποίου οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα για την συνέχεια της μελέτης, θα υπολογιστεί η ποσότητα του ατμού που πρέπει να παράγεται, η κατανάλωση του καυσίμου, η ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης και η ποσότητα των καπναερίων που εκλύονται κατά την καύση.

Πηγή αποτελούν οι πίνακες του βιβλίου: Κροντήρης (1994) καθώς το βιβλίο “Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός επίλυσης Ασκήσεων Πράξης” του καθηγητή μου κ. Γιαννόπουλου Ανδρέα, στο οποίο υπάρχει η μεθοδολογία και οι τύποι που χρησιμοποιούνται.

### **2.2 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟΥ**

Η σύσταση του πυρηνοξύλου σαν στερεό καύσιμο μοιάζει με του ξύλου. Σύμφωνα με αναλύσεις του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου, η σύστασή του επί ξηρού καυσίμου έχει ως εξής:

-Ανθρακας( <b>c</b> ): 49,7-50,1%. Θα ληφθεί ως	49,9%
-Υδρογόνο( <b>h</b> ): 6-7%. Θα ληφθεί ως:	6,5%
-Αζωτο( <b>n</b> ): 1,1-1,6%. Θα ληφθεί ως:	1,4%
-Οξυγόνο( <b>o</b> ): 38,1-38,8%. Θα ληφθεί ως:	38,5%
-Θείο( <b>s</b> ): 0,01-0,08%. Θα ληφθεί ως:	0,05%
-Τέφρα( <b>A</b> ):3,5%-4,5%. Θα ληφθεί ως:	3,65%
<b>Σύνολο:</b>	100%

Σχετικά με την υγρασία επί φυσικού καυσίμου, η τιμή 14%, είναι μια ικανοποιητική μέση τιμή.

Θα γίνει αναγωγή περιεκτικότητας καυσίμου, ώστε να υπολογιστεί η σύσταση επί φυσικού καυσίμου. Ο συντελεστής αναγωγής, έχει ως εξής:

$$f = \frac{100-w_1}{100} = \frac{100-14}{100} = 0,86$$

Αν **c<sub>1</sub>, h<sub>1</sub>, n<sub>1</sub>, o<sub>1</sub>, s<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>**, οι περιεκτικότητες επί ξηρού καυσίμου, οι αντίστοιχες επί φυσικού καυσίμου θα είναι:

$$\mathbf{c} = f \cdot \mathbf{c}_1 = 0,86 \cdot 49,9\% = 42,91\%$$

$$\mathbf{h} = f \cdot \mathbf{h}_1 = 0,86 \cdot 6,5\% = 5,59\%$$

$$\mathbf{n} = f \cdot \mathbf{n}_1 = 0,86 \cdot 1,4\% = 1,20\%$$

$$\mathbf{o} = f \cdot \mathbf{o}_1 = 0,86 \cdot 38,5\% = 33,11\%$$

$$\mathbf{s} = f \cdot \mathbf{s}_1 = 0,86 \cdot 0,05\% = 0,04\%$$

$$\mathbf{A} = f \cdot \mathbf{A}_1 = 0,86 \cdot 3,65\% = 3,14\%$$

$$\mathbf{w} = \mathbf{w}_1 = 14\%$$

$$\mathbf{\Sigma \acute{o} \lambda \omicron} : 100\%$$

Ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η θερμογόνος δύναμη του πυρηνοξύλου ισχύει για όλα τα στερεά και υγρά καύσιμα:

$$H_u = 8130 \cdot \mathbf{c} + 24300 \cdot \mathbf{h} + 1500 \cdot \mathbf{n} + 4560 \cdot \mathbf{s} - 2350 \cdot \mathbf{o} - 600 \cdot \mathbf{w} \quad (2.1)$$



Αντικαθιστώντας η εξ.(2.1) θα είναι:

$$H_u = 8130 \cdot 0,429 + 24300 \cdot 0,056 + 1500 \cdot 0,012 + 4560 \cdot 0,0004 - 2350 \cdot 0,331 - 600 \cdot 0,14 \approx 4006 \text{ kcal/kg}$$

### 2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΔΡΑΤΜΩΝ

Για να προκύψουν συμπεράσματα για την κατάσταση των υδρατμών του ατμολέβητα που μελετάται, αλλά και γενικότερα για την πορεία των υπολογισμών που θα γίνουν, πρέπει να σχεδιαστεί ο θερμοδυναμικός κύκλος Rankine, σε διάγραμμα T-s και να τεθούν τα χαρακτηριστικά σημεία 1 έως 8 σε αυτόν.

Ο κύκλος Rankine αντιστοιχεί σε μια θερμική μηχανή με κύκλο ισχύος ατμού. Το συνηθέστερο μέσο για την παραγωγή ατμού είναι το νερό. Ο κύκλος αυτός αποτελείται από 4 διεργασίες:

- 1) Ισεντροπική συμπίεση (Αντλία)
- 2) Ισοβαρής πρόσδοση θερμότητας (σταθερή πίεση)
- 3) Ισεντροπική εκτόνωση
- 4) Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας

Για τα 8 σημεία που θα τεθούν στο διάγραμμα ισχύει:

Σημείο 1: Συμπυκνωμένος ατμός, δηλαδή νερό στην έξοδο του συμπυκνωτή του ατμοστροβίλου

Σημείο 2: Νερό στην έξοδο της αντλίας τροφοδοσίας

Σημείο 3: Νερό σε κατάσταση κορεσμού μέσα στο τύμπανο του ατμολέβητα

Σημείο 4: Ατμός σε κατάσταση κορεσμού μέσα στο τύμπανο του ατμολέβητα

Σημείο 5: Υπέρθερμος ατμός στην έξοδο του ατμολέβητα και είσοδο του ατμοστροβίλου

Σημείο 6: Ιδανική κατάσταση ατμού στην έξοδο του ατμοστροβίλου

Σημείο 7: Πραγματική κατάσταση ατμού στην έξοδο του ατμοστροβίλου

Σημείο 8: Ατμός σε κατάσταση κορεσμού στην πίεση του συμπυκνωτή

Στη συνέχεια θα υπολογιστούν για κάθε ένα από τα 8 σημεία που τέθηκαν στο Σχήμα 2.1, τα θερμοδυναμικά τους μεγέθη, με τη βοήθεια πινάκων που υπάρχουν στο βιβλίο του Κροντήρη (1994).

Η θερμοκρασία παριστάνεται με  $T$ , ο ειδικός όγκος με  $v$ , η ενθαλπία με  $h$  και με  $s$  η εντροπία.

Το σημείο 1 βρίσκεται στην καμπύλη του κορεσμένου νερού. Η πίεση σε αυτό το σημείο, σύμφωνα με τα δεδομένα είναι 0,2 bar και σύμφωνα με τους πίνακες του κορεσμένου νερού-ατμού θα είναι  $T_1=60,08^\circ\text{C}$ ,  $v_1=0,001017\text{m}^3/\text{kg}=1,017\text{dcm}^3/\text{kg}$ ,  $h_1=251,4\text{kJ}/\text{kg}$ ,  $s_1=0,832\text{kJ}/\text{kgK}$ .

Το σημείο 2 το οποίο αφορά νερό υπό πίεση (42 bar) βρίσκεται αριστερά της καμπύλης κορεσμένου νερού. Επειδή το νερό είναι ασυμπίεστο ισχύει  $v_2=v_1=0,001017\text{m}^3/\text{kg}$  και από τους πίνακες κορεσμένου νερού-ατμού προκύπτει  $s_2=2,823\text{kJ}/\text{kgK}$ .

Για την ενθαλπία ισχύει η σχέση:

$$h_2 = h_1 + v_1 \cdot \Delta P \quad (2.2)$$

Όπου:  $\Delta P$ =η διαφορά πίεσης μεταξύ των σημείων 1 και 2,δηλαδή

$$42 - 0,2 = 41,8\text{bar} .$$

Άρα σύμφωνα με την εξ.(2.2)

$$h_2 = h_1 + v_1 \cdot \Delta P = 251,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1,017 \frac{\text{dcm}^3}{\text{kg}} \cdot 41,8\text{bar} \cdot 10^{-1} \Rightarrow h_2 = 255,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Η αύξηση της ενθαλπίας σημαίνει και αύξηση της θερμοκρασίας η οποία θα βρεθεί με τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta h = C_p \cdot \Delta T = v_1 \cdot \Delta P \Rightarrow \quad (2.3)$$

Επομένως η εξ.(2.3) θα είναι:

$$\Delta T = \frac{v_1 \cdot \Delta P}{c_p} = \frac{1,017 \frac{\text{dcm}^3}{\text{kg}} \cdot 41,8 \text{bar} \cdot 10^{-1}}{4,187} \Rightarrow \Delta T = 1,01^\circ \text{C}$$

Άρα  $T_2 = T_1 + \Delta T = 60,08 + 1,01 = 61,09 \Rightarrow T_2 = 61,09^\circ \text{C}$

Το Σημείο 3 βρίσκεται ακριβώς πάνω από την καμπύλη κορεσμένου νερού και από τους πίνακες κορεσμένου νερού-ατμού για πίεση νερού 42 bar προκύπτει ότι  $T_3 = 253,24^\circ \text{C}$  ,  $v_3 = 0,0012 \text{m}^3/\text{kg}$  ,  $h_3 = 1101,7 \text{kJ/kg}$  ,  $s_3 = 2,823 \text{kJ/kgK}$

Το Σημείο 4 ακριβώς πάνω από την καμπύλη κορεσμένου ατμού είναι σημείο της γραμμής σταθερής πίεσης στην οποία βρίσκονται και τα σημεία 2,3 συνεπώς  $P_2 = P_3 = P_4 = 42 \text{bar}$ . Από τους πίνακες κορεσμένων υδρατμών προκύπτει:

$$T_4 = 253,24^\circ \text{C}, v_4 = 0,047 \text{m}^3/\text{kg}, h_4 = 2800 \text{kJ/kg}, s_4 = 6,049 \text{kJ/kgK}$$

Για το σημείο 5 ισχύει  $P_5 = 40 \text{bar}$ , λόγω των απωλειών 2 bar του υπερθερμαντήρα και  $T_5 = 450^\circ \text{C}$  σύμφωνα με τα δεδομένα. Βρίσκεται στην περιοχή υπέρθερμων υδρατμών και για πίεση 40 bar και θερμοκρασία  $450^\circ \text{C}$  προκύπτει:  $v_5 = 0,0800 \text{m}^3/\text{kg}$  ,  $h_5 = 3329 \text{kJ/kg}$  ,  $s_5 = 6,933 \text{kJ/kgK}$

Θα βρεθούν στη συνέχεια, τα θερμοδυναμικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο σημείο 8, γιατί είναι απαραίτητα για την εύρεση αυτών του σημείου 6 (η  $s_8$  συγκεκριμένα).

Το σημείο 8, βρίσκεται στην ίδια οριζόντια γραμμή με το 1, επομένως  $P_8 = P_1 = 0,2 \text{bar}$  (πίεση συμπυκνωτή) και βρίσκεται και πάνω στην κωδωνοειδή καμπύλη κορεσμένου ατμού, οπότε από τον πίνακα κορεσμένων υδρατμών προκύπτει:

$$T_8 = 60,08^\circ \text{C} , v_8 = 7,647 \text{m}^3/\text{kg} , h_8 = 2609 \text{kJ/kg} , s_8 = 7,907 \text{kJ/kgK}$$

Το σημείο 6, μπορεί να βρίσκεται εντός ή εκτός της κωδωνοειδούς καμπύλης. Η εντροπία του είναι ίδια με αυτή του σημείου 5, επειδή βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφη γραμμή, άρα  $s_6 = s_5 = 6,933 \text{kJ/kgK}$ .

Παρατηρείται ότι  $s_6 < s_8$  άρα το σημείο 6 βρίσκεται αριστερά του σημείου 8 στο διάγραμμα Rankine, άρα εντός της κωδωνοειδούς καμπύλης.

Η ξηρότητα του ατμού στο σημείο 6 θα υπολογιστεί με τον εξής τύπο:

$$x_6 = \frac{s_6 - s_1}{s_8 - s_1} = \tag{2.4}$$

$$= \frac{6,933 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0,832 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{7,907 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0,832 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \frac{6,101 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{7,075 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \Rightarrow x_6 = 0,862$$

Για την  $h_6$  ισχύει:

$$h_6 = h_1 + x_6 \cdot (h_8 - h_1) \quad (2.5)$$

$$h_6 = 251,4 \frac{kJ}{kg} + 0,862 \cdot \left( 2609 \frac{kJ}{kg} - 251,4 \frac{kJ}{kg} \right) \Rightarrow h_6 = 2283,7 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_6 = v_1 + x_6(v_8 - v_1) \quad (2.6)$$

$$v_6 = 1,017 \frac{dcm^3}{kg} + 0,862 \cdot \left( 7647 \frac{dcm^3}{kg} - 1,017 \frac{dcm^3}{kg} \right) = 6591 \frac{dcm^3}{kg} = 6,591 \frac{m^3}{kg}$$

Το σημείο 7 αντιστοιχεί στην πραγματική κατάσταση του ατμού στην έξοδο του ατμοστροβίλου. Βρίσκεται στην γραμμή σταθερής πίεσης του συμπυκνωτή και δεξιότερα του ιδανικού σημείου 6 ,αφού ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του ατμοστροβίλου είναι 0,85. Δεν είναι γνωστό όμως αν βρίσκεται εντός ή εκτός της κωδωνοειδούς καμπύλης.

Η ενθαλπία του υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση, που δίνει τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης, ο οποίος είναι γνωστός από τα δεδομένα και ισούται με 0,85:

$$n_i = \frac{h_5 - h_7}{h_5 - h_6} \quad (2.7)$$

Επομένως από την εξ.(2.7) προκύπτει

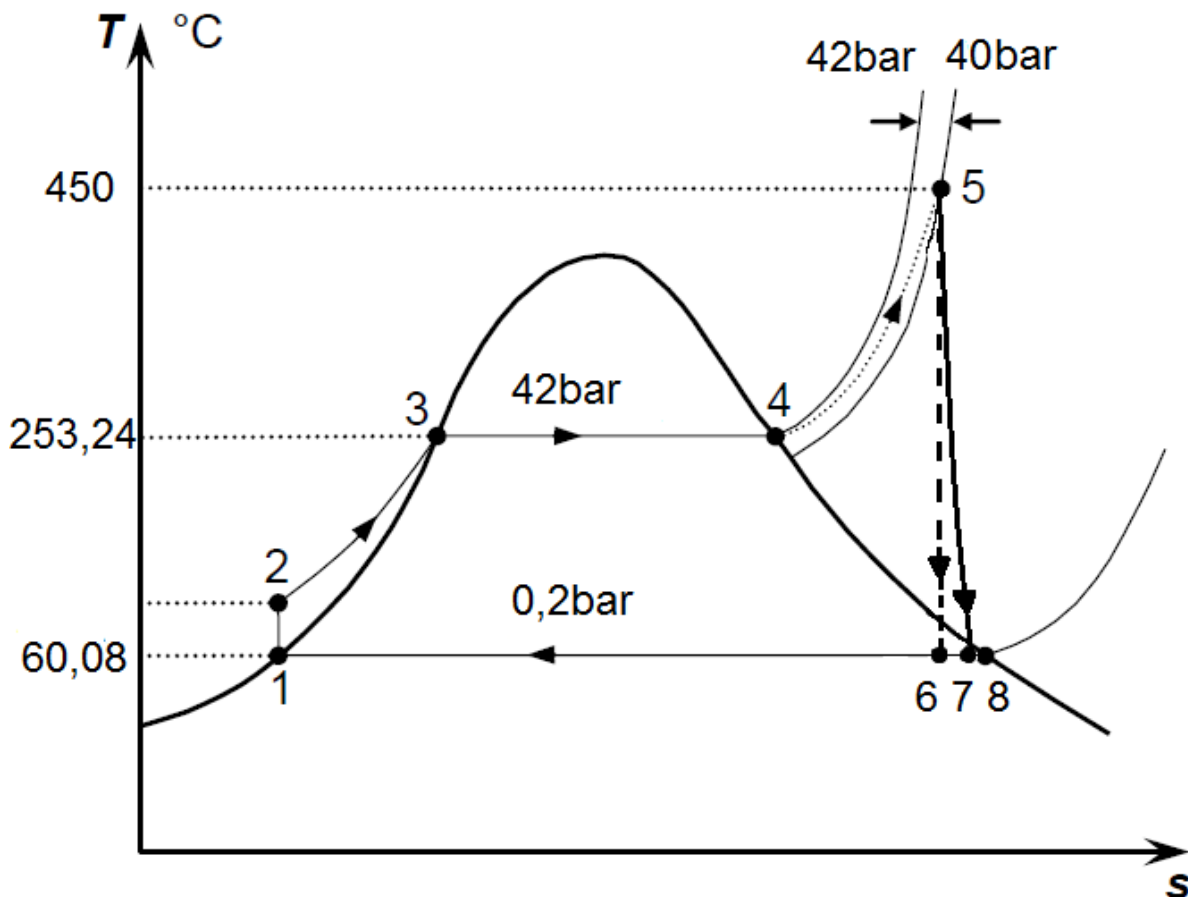
$$h_7 = h_5 - n_i(h_5 - h_6) = 3329 \frac{kJ}{kg} - 0,85 \left( 3329 \frac{kJ}{kg} - 2283,7 \frac{kJ}{kg} \right) = 3329 \frac{kJ}{kg} - 888,5 \frac{kJ}{kg} \Rightarrow h_7 = 2440,5 \frac{kJ}{kg}$$

Παρατηρούμε ότι  $h_7=2440,5 < h_8=2609$  άρα το σημείο 7 είναι αριστερά από το σημείο 8, δηλαδή βρίσκεται εντός της κωδωνοειδούς καμπύλης.

**Πίνακας 1.1:** Ενθαλπία, ειδικός όγκος και εντροπία κάθε σημείου του διαγρ. Rankine

ΣΗΜΕΙΟ	ΕΝΘΑΛΠΙΑ(h) Kj/kg	ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ(v) m <sup>3</sup> /kg	ΕΝΤΡΟΠΙΑ(s) Kj/kgK
1	251,4	0,001017	0,8321
2	255,6	0,001017	2,823
3	1101,7	0,0012	2,823
4	2800	0,0473	6,049
5	3329	0,0800	6,933
6	2283,7	6,591	6,933
7	2440,5	v <sub>7</sub>	s <sub>7</sub>
8	2609	7,647	7,907

Προκύπτει λοιπόν το παρακάτω διάγραμμα T-s:



**Σχήμα 2.1:** Θερμοδυναμικός κύκλος Rankine

## 2.4 ΕΝΘΑΛΠΙΚΗ ΠΤΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ

Η διαφορά ενθαλπίας του εισερχόμενου ατμού στον στρόβιλο μείον αυτής του εξερχόμενου ατμού από τον στρόβιλο είναι:

$$h_5 - h_7 = 3329 - 2440,5 = 888,5 \text{ kJ/kg} \quad (\text{σύμφωνα με τον πίνακα 1.1})$$

## 2.5 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΤΜΟΥ

Η ποσότητα παραγόμενου ατμού θα βρεθεί με τον παρακάτω τύπο:

$$W_T = D \cdot \Delta h_T \quad (2.8)$$

Όπου:  $W_T$  = η ισχύς του ατμοστρόβιλου

$D$  = η ποσότητα του παραγόμενου ατμού

$\Delta h = h_5 - h_7 = 888,5 \text{ kJ/kg}$

Επειδή η ισχύς της μονάδας είναι 5MW, ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας  $\eta_G = 0,98$  και ο βαθμός απόδοσης του ατμοστρόβιλου  $\eta_T = 0,95$  ισχύει:

$$W_T = \frac{5}{0,98 \cdot 0,95} = 5,37 \text{ MW}$$

Η ισχύς σε KJ/h βρίσκεται με τον εξής τρόπο:

$$W_T = 5,37 \text{ MW} = 5,37 \cdot 10^3 \text{ KW} = 5 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{sec}} = 5,37 \cdot 3600 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 19,33 \cdot 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Σύμφωνα με την εξ.(2.8):

$$D = \frac{W_T}{\Delta h_T} = \frac{19,33 \cdot 10^6 \frac{kJ}{h}}{888,5 \frac{kJ}{kg}} = 21758 \frac{kg}{h} = 21,76 \frac{t}{h}$$

## 2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 1KG ΑΤΜΟΥ

Η θερμότητα που απαιτείται για την παραγωγή 1 kg ατμού ( $\Delta h$ ) είναι η διαφορά της ενθαλπίας του υπέρθερμου ατμού στην έξοδο του λέβητα μείον την ενθαλπία του νερού τροφοδοτήσεως στην είσοδο του λέβητα. Η ενθαλπία του ατμού στην έξοδο του λέβητα είναι  $h_5=3329\text{kJ/kg}$  και η ενθαλπία του εισερχόμενου νερού τροφοδοτήσεως είναι  $h_2= 255,6\text{kJ/kg}$ . Επομένως για την παραγωγή 1 kg ατμού απαιτούνται:

$$\Delta h = h_5 - h_2 = 3329 - 255,6 = 3073,4 \text{kJ/kg}$$

## 2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η κατανάλωση του καυσίμου θα βρεθεί με την βασική σχέση ισολογισμού-θερμότητας ως εξής:

$$B = \frac{D \cdot \Delta h}{\eta \cdot Q} \quad (2.9)$$

Όπου:  $D=21,76\text{t/h}$ , η ποσότητα του παραγόμενου ατμού

$\Delta h=3073,4\text{kJ/kg}$ , η απαιτούμενη θερμότητα για παραγωγή 1 kg ατμού

$Q=4006\text{kJ/kg}$ , η προσδιδόμενη θερμότητα στην εστία του ατμολέβητα

$\eta=0,85$ , ο βαθμός απόδοσης του λέβητα για καύση πυρηνοξύλου, σύμφωνα

με τα δεδομένα

Η συνολική προσδιδόμενη θερμότητα στην εστία του ατμολέβητα, ισούται με το άθροισμα της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, συν την θερμότητα  $q_B$  που εισάγεται στην εστία λόγω της προθέρμανσης του καυσίμου, συν τη θερμότητα  $q_h$  που εισάγεται λόγω της προθέρμανσης του αέρα καύσεως. Στην παρούσα μελέτη δεν γίνεται προθέρμανση καυσίμου και αέρα καύσεως, επομένως  $q_B$  και  $q_h$  ισούνται με 0.

Άρα προσδίδεται στον ατμολέβητα μόνο η θερμότητα από την καύση του καυσίμου.

Επομένως η εξ.(2.9) θα είναι:

$$B = \frac{21,76 \frac{t}{h} \cdot 3073,4 \frac{Kj}{kg}}{0,85 \cdot 4006 \frac{Kcal}{kg} \cdot 4,187 \frac{Kj}{Kcal}} = \frac{66877,1}{14257} = 4,7 \text{ t/h}$$

## 2.8 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ

Η ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης υπολογίζεται με την σχέση:

$$L_0 = 8,89 \cdot c + 26,7 \cdot \left( h - \frac{o}{8} \right) + 3,33 \cdot s \quad (2.10)$$

Όπου:  $c$ =περιεκτικότητα σε άνθρακα (42,9%)

$h$ =περιεκτικότητα σε υδρογόνο (5,6%)

$o$ =περιεκτικότητα σε οξυγόνο (33,1%)

$s$ =περιεκτικότητα σε θείο (0,04%)

Άρα σύμφωνα με την εξ.(2.10):

$$\begin{aligned} L_0 &= 8,89 \cdot 0,429 + 26,7 \cdot \left( 0,056 - \frac{0,331}{8} \right) + 3,33 \cdot 0,0004 = 3,81 + 0,40 + 0,001 \\ &= 4,21 Nm^3/Kg \end{aligned}$$



## 2.9 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΓΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των υγρών καπναερίων, η οποία περιέχει και την υγρασία υπό μορφή υδρατμών, υπολογίζεται με την:

$$V_0 = 8,89 \cdot c + 32,29 \cdot h - 21,1 \frac{o}{8} + 3,33 \cdot s + 0,796 \cdot n + 1,244 \cdot w \quad (2.11)$$

Άρα σύμφωνα με την εξ.(2.11):

$$V_0 = 8,89 \cdot 0,429 + 32,29 \cdot 0,056 - 21,1 \frac{0,331}{8} + 3,33 \cdot 0,0004 + 0,796 \cdot 0,012 + 1,244 \cdot 0,14 = 3,81 + 1,81 - 0,87 + 0,001 + 0,01 + 0,17 = 4,93 \text{ Nm}^3/\text{Kg}$$

## 2.10 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η πραγματική ποσότητα των καπναερίων, είναι μεγαλύτερη από αυτή των υγρών καπναερίων, γιατί πρέπει να προστεθεί και ο υπόλοιπος αέρας, που δεν έλαβε μέρος στην καύση και προέρχεται από την περίσσεια αέρα καύσης, η οποία σύμφωνα με τα δεδομένα είναι 40%, δηλαδή  $\lambda=1,4$ .

Ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$V_R = V_0 + (\lambda - 1) \cdot L_0 \quad (2.12)$$

Όπου  $V_R$ =η ζητούμενη πραγματική ποσότητα καπναερίων

$V_0=4,93\text{Nm}^3/\text{kg}$  , η ποσότητα υγρών καπναερίων

$L_0=4,21\text{Nm}^3/\text{kg}$  ,η ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης

Άρα σύμφωνα με την εξ.(2.12):

$$V_R = V_0 + (\lambda - 1) \cdot L_0 = 4,93 + (1,4 - 1) \cdot 4,21 = 6,6 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}}$$

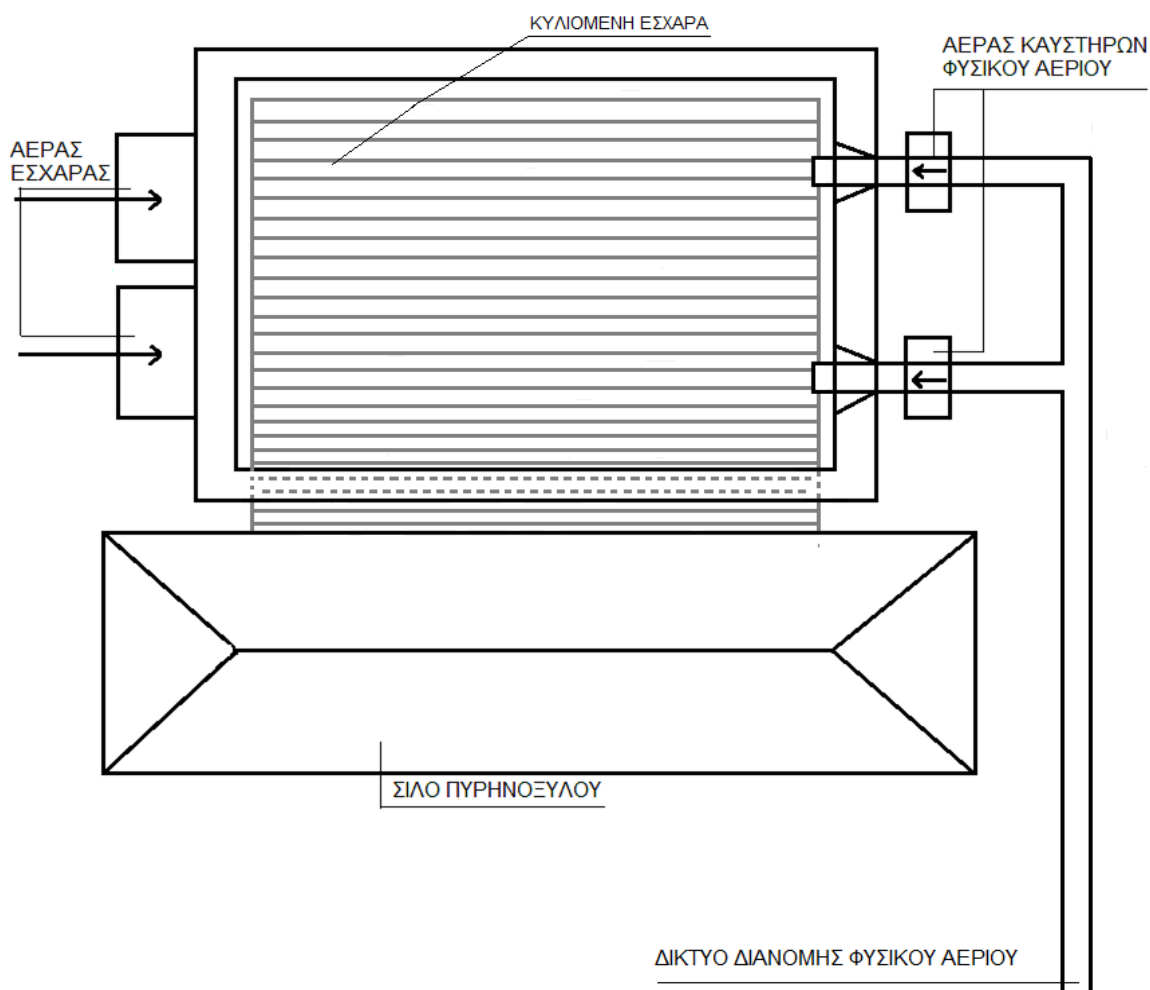
### 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΣΤΙΑΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι υπολογισμοί αυτού του κεφαλαίου θα γίνουν με σκοπό να βρεθούν οι απαιτούμενες διαστάσεις της σχάρας της εστίας του ατμολέβητα, ο όγκος του φλογοθαλάμου, η επιφάνεια του και το ύψος του.

Επίσης θα βρεθεί το ποσό της θερμότητας που μεταδίδεται με ακτινοβολία στο φλογοθάλαμο καθώς και η πραγματική θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτόν.

Πηγή αποτελεί το βιβλίο “Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός επίλυσης Ασκήσεων Πραξης” του καθηγητή μου κ. Γιαννόπουλου Ανδρέα, στο οποίο υπάρχει η μεθοδολογία και οι τύποι που χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 3.1: Κάτοψη φλογοθαλάμου του ατμολέβητα

### 3.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΣΧΑΡΑΣ

Η επιφάνεια της εσχάρας υπολογίζεται ως εξής:

$$F_R = \frac{B \cdot H_u}{r_f} \quad (3.1)$$

Όπου:  $B=4700\text{kg/h}$ , η κατανάλωση καυσίμου και

$H_u=4006\text{kcal/kg}$ , η θερμογόνο του δύναμη

$r_f=1,4 \cdot 10^6\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ , η ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$q_b=4$  έως  $8 \cdot 10^6\text{kcal/m} \cdot \text{h}$ , η ειδική φόρτιση ανά μονάδα πλάτους (σύμφωνα με τα δεδομένα)

Άρα σύμφωνα με την εξ.(3.1):

$$F_R = \frac{B \cdot H_u}{r_f} = \frac{4700 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4006 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}}{1,4 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \text{h}} = \frac{18828200}{1400000} = 13,45\text{m}^2$$

Το μήκος της εσχάρας ισούται με το πηλίκο της ειδικής φόρτισης ανά μονάδα πλάτους δια την ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας:

$$l_R = \frac{q_b}{r_f} = \frac{4 \text{ έως } 8 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{1,4 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}} = 2,86 \text{ έως } 5,71 \text{ m}$$

Επιλέγεται μήκος  $L_R=4,5\text{m}$  οπότε το πλάτος θα είναι  $b_r= 3\text{m}$  και η πραγματική επιφάνεια εσχάρας:

$$F_R=4,5 \cdot 3=13,5\text{m}^2$$

### 3.3 ΟΓΚΟΣ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Για τον υπολογισμό του όγκου του φλογοθαλάμου ισχύει:

$$V_f = \frac{Q_f}{q_f} \quad (3.2)$$

Όπου:  $q_f=0,4 \cdot 10^6$  kcal/  $m^3 \cdot h$ , η ειδική φόρτιση ανά μονάδα όγκου (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$Q_f$ =η απελευθερούμενη θερμότητα στο φλογοθάλαμο ανά ώρα, η οποία εφόσον δεν έχουμε προθέρμανση αέρα ισούται με το γινόμενο της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου επί την ωριαία κατανάλωση καυσίμου, δηλαδή  $Q_f=H_u \cdot B=4006 \text{kcal/kg} \cdot 4700 \text{kg/h}=18,83 \cdot 10^6 \text{kcal/h}$

Άρα η εξ.(3.2) θα είναι:

$$V_f = \frac{Q_f}{q_f} = \frac{18,83 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0,4 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \cdot \text{h}}} = 47 \text{ m}^3$$

### 3.4 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Η επιφάνεια οριζοντίου διατομής υπολογίζεται με την:

$$F_f = \frac{Q_f}{q_F} \quad (3.3)$$

Όπου:  $q_F=1,6 \cdot 10^6$  kcal/  $m^2 \cdot h$ , η ειδική φόρτιση ανά μονάδα επιφανείας οριζοντίου διατομής (σύμφωνα με τα δεδομένα)

Άρα σύμφωνα με την εξ.(3.3):

$$F_f = \frac{Q_f}{q_F} = \frac{18,83 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{1,6 \cdot 10^6 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}} = 11,77 \text{ m}^2$$

Θα ληφθεί πλάτος φλογοθαλάμου ίσο με το πλάτος της εσχάρας οπότε  $b_R=b_f=3m$

και το μήκος θα είναι  $l_f = \frac{F_f}{b_f} = \frac{11,77}{3} \approx 4m$

οπότε η πραγματική επιφάνεια οριζοντίου διατομής του φλογοθαλάμου θα είναι  $F_R=3 \cdot 4=12m^2$

Το ύψος του φλογοθαλάμου θα ισούται με το πηλίκο του όγκου του δια την επιφάνεια του οπότε  $h_f = \frac{V_f}{F_f} = \frac{47}{12} = 3,91m$

### 3.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Ο ατμολέβητας που μελετάται είναι ατμολέβητας ακτινοβολίας με όρθιους αυλούς δηλαδή υπάρχει μια σειρά κατακόρυφων αυλών διαμέτρου 82,9mm περιμετρικά του φλογοθαλάμου και σε επαφή με το τοίχωμά του.

Η επιφάνεια  $F_s$  που προσβάλλεται από την ακτινοβολία είναι:

$$F_s = \Sigma l_a \cdot d \left[ 1 + \frac{t-d}{2t} \right] \quad (3.4)$$

Όπου:  $t$ =το βήμα των αυλών

$l_a$ =το μήκος των αυλών

$d$ =η εξωτερική διάμετρος των αυλών

Για το βήμα των αυλών θα χρησιμοποιηθεί ο εμπειρικός τύπος

$$t \approx \frac{\pi \cdot d}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot 82,9 \approx 130mm$$

Η περίμετρος του φλογοθαλάμου με μήκος 4m και πλάτος 3m θα είναι  $\Gamma=4 \cdot 2+3 \cdot 2=14m$

Επομένως με περίμετρο φλογοθαλάμου 14m και βήμα αυλών  $t=0,13m$  ο αριθμός των αυλών θα είναι  $n=\Gamma/t=14m/0,13m=108$  αυλοί

Εφόσον το ύψος του φλογοθαλάμου βρέθηκε 3,9m, τόσο θα είναι και το ύψος των αυλών.

Επομένως σύμφωνα με την εξ.(3.4):

$$F_s = \Sigma l_{\alpha} \cdot d \left[ 1 + \frac{t-d}{2t} \right] = 108 \cdot 3,9 \cdot 0,0829m \cdot \left( 1 + \frac{130-82,9}{2 \cdot 130} \right) = 41,24m^2$$

### 3.6 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΜΕΤΑΔΙΔΕΤΑΙ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟ

Η θερμότητα που μεταδίδεται στο φλογοθάλαμο ανά μονάδα επιφανείας υπολογίζεται με την σχέση:

$$S = C \cdot \left[ \left( \frac{t_f}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_w}{100} \right)^4 \right] \quad (3.5)$$

Όπου: C=συντελεστής ακτινοβολίας (εξαρτάται από τη φωτεινότητα της φλόγας)

$t_f$ =η πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου σε °K ( $t_f=T_f+273^{\circ}K$ )

$t_w$ =η θερμοκρασία της ακτινοβολούμενης επιφάνειας, η εξωτερική δηλαδή θερμοκρασία των αυλών.

Λαμβάνεται κατά προσέγγιση ως:

$$t_w=t_0+10^{\circ}K$$

όπου: $t_0$ =η θερμοκρασία βρασμού του ύδατος, στην πίεση λειτουργίας του λέβητα, δηλαδή στα 40 bar. Σύμφωνα με πίνακες της βιβλιογραφίας, η θερμοκρασία αυτή είναι 526,4°K. Άρα  $t_w=526,4+10=536,4 \approx 536^{\circ}K$

οπότε η εξ.(3.5) έχει ως εξής:

$$S = 4 \cdot \left[ \left( \frac{T_f+273}{100} \right)^4 - \left( \frac{536}{100} \right)^4 \right] = 4 \left[ \left( \frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4 - 5,36^4 \right] \frac{Kcal/h}{m^2}$$

Όπου  $T_f$  η πραγματική θερμοκρασία φλογοθαλάμου, η οποία θα βρεθεί στην επόμενη παράγραφο.

### 3.7 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΥ

Η πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου θα υπολογιστεί με την σχέση:

$$T_f = \frac{Q_f - S \cdot F_s}{B \cdot c_p \cdot V_R} + T_l \quad (3.6)$$

Όπου:  $Q_f = 18,83 \cdot 10^6$  kcal/h, η απελευθερούμενη θερμότητα που εκλύεται ανά ώρα στο φλογοθάλαμο

$S$  = η θερμότητα που μεταδίδεται στον φλογοθάλαμο ανά μονάδα επιφανείας

$B = 4700$  kg/h, η ωριαία κατανάλωση καυσίμου

$c_p = 0,39$  Kcal/ Nm<sup>3</sup>·°C, η ειδική θερμότητα καπναερίων πυρηνοξύλου (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$V_R = 6,6$  Nm<sup>3</sup>/kg, η πραγματική ποσότητα καπναερίων

$T_l = 20$ °C, η θερμοκρασία περιβάλλοντος (σύμφωνα με τα δεδομένα)

Επομένως σύμφωνα με την εξ.(3.6):

$$T_f = \frac{Q_f - S \cdot F_s}{B \cdot c_p \cdot V_R} + T_l = \frac{18,83 \cdot 10^6 \frac{kcal}{h} - 41,24 m^2 \cdot 4 \left[ \left( \frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4 - 5,36^4 \right] \frac{kcal}{m^2 h}}{\frac{4700 kg}{h} \cdot \frac{0,39 kcal}{Nm^3 \cdot ^\circ C} \cdot \frac{6,6 Nm^3}{kg}} + 20 =$$

$$\frac{18,83 \cdot 10^6 + 136156 - 164,96 \left( \frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4}{12097,8} + 20 = \frac{18966156 - 164,96 \left( \frac{T_f}{100} + 2,73 \right)^4}{12097,8} + 20$$

Η τιμή της  $T_f$  θα βρεθεί με την αλγεβρική μέθοδο, μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία θα τεθούν στην εξίσωση (3.6) διάφορες τιμές  $T_f$  μέχρι να προκύψει για την  $T_f$  κατά την εκτέλεση των πράξεων ίδια τιμή με αυτή που δόθηκε αρχικά.

Μετά από δοκιμές λοιπόν προκύπτει ότι η ζητούμενη τιμή για την  $T_f$ , την πραγματική δηλαδή θερμοκρασία του φλογοθαλάμου είναι  $1101,25^\circ\text{C}$  (θα ληφθεί ως  $1101^\circ\text{C}$ ).

## 4. ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σ' αυτό το κεφάλαιο, με τη χρήση της βασικής σχέσης μεταβίβασης θερμότητας, θα υπολογιστούν οι απαιτούμενες επιφάνειες των επιμέρους τμημάτων του λέβητα. Θα βρεθεί λοιπόν η επιφάνεια του αρχικού τμήματος του λέβητα (αποτελείται από σειρές κεκλιμένων αυλών πάνω από την οροφή του φλογοθαλάμου), του υπερθερμαντήρα ατμού, του τελικού τμήματος (περιλαμβάνει τους αυλούς που αποτελούν προέκταση των αυλών ψύξεως του φλογοθαλάμου) και του προθερμαντήρα νερού (η επιφάνεια του φλογοθαλάμου έχει ήδη βρεθεί ίση με  $41,42\text{m}^2$ ).

Πηγή αποτελεί το βιβλίο “Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός επίλυσης Ασκήσεων Πράξης” του καθηγητή μου κ. Γιαννόπουλου Ανδρέα, στο οποίο υπάρχει η μεθοδολογία και οι τύποι που χρησιμοποιούνται.

### 4.2 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΔΙΔΕΤΑΙ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟ

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ο τύπος με τον οποίο βρίσκεται η θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία στο φλογοθάλαμο, δεν ήταν όμως γνωστή η τιμή της πραγματικής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται.

Σύμφωνα με την εξ.(3.5) και θέτοντας όπου  $T_f=1101^\circ\text{C}$  προκύπτει:

$$\begin{aligned} S &= 4 \cdot \left[ \left( \frac{1101 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{536}{100} \right)^4 \right] = 4 \left[ \left( \frac{1101}{100} + 2,73 \right)^4 - 5,36^4 \right] \frac{\text{Kcal/h}}{\text{m}^2} = \\ &= 139365 \frac{\text{Kcal/h}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$



Επίσης σε προηγούμενη παράγραφο βρέθηκε ότι η ακτινοβολούμενη επιφάνεια του φλογοθαλάμου είναι  $F_s=41,42m^2$

Άρα η θερμότητα που μεταδίδεται συνολικά στον φλογοθάλαμο:

$$Q_{af} = S \cdot F_s \Rightarrow Q_{af} = 139365 \frac{Kcal}{m^2 \cdot h} \cdot 41,42m^2 = 5,77 \cdot 10^6 \frac{Kcal}{h}$$

### 4.3 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΔΙΔΟΜΕΝΗ ΓΙΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ

Η συνολική θερμότητα που προσδίδεται από τα καυσαέρια για ατμοποίηση στο αρχικό και τελικό τμήμα του λέβητα ισούται με:

$$\Delta h = h_x - q_0$$

Όπου:  $h_x$ =η ενθαλπία του ατμού του τύμπανου, ο οποίος στο σημείο αυτό δεν είναι πλήρως κορεσμένος, αλλά υγρός με μια μέση ξηρότητα  $x=0,98$

$q_0$ =η ενθαλπία του εισερχόμενου νερού στο τύμπανο 546,3kj/kg

και διαιρώντας με 4,187 μετατρέπεται από kj/kg σε kcal/kg, οπότε

προκύπτει:  $q_0=130,5$  kcal/kg

Η πραγματική ενθαλπία του υγρού ατμού  $h_x$  θα υπολογιστεί με την σχέση:

$$h_x = h_3 + x \cdot (h_4 - h_3) \tag{4.1}$$

Όπου:  $h_3$ ,  $h_4$ =οι ενθαλπίες του νερού και του ατμού αντίστοιχα στο τύμπανο του ατμολέβητα, οι οποίες έχουν βρεθεί 1101,7kj/kg και 2800kj/kg αντίστοιχα

Διαιρώντας με 4,187 προκύπτει:  $h_3=263,1$ kcal/kg,  $h_4=668,7$ kcal/kg

Η εξ.(4.1) έχει λοιπόν ως:

$$h_x = h_3 + x \cdot (h_4 - h_3) = 263,1 + 0,98 \cdot (668,7 - 263,1) = 660,59kcal/kg$$

Και:

$$\Delta h = h_x - q_0 = 660,59 \frac{kcal}{kg} - 130,5 \frac{kcal}{kg} = 530,1 \frac{kcal}{kg}$$

Για παραγόμενο ατμό 21760 kg/h, η συνολική θερμότητα ατμοποίησης θα είναι:

$$Q_D = D \cdot \Delta h = 21760 \frac{kg}{h} \cdot 530,1 \frac{kcal}{kg} = 11,53 \cdot 10^6 \frac{kcal}{h}$$

#### 4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Το αρχικό τμήμα του λέβητα αποτελείται από σειρές κεκλιμένων αυλών που βρίσκονται πάνω από την οροφή του φλογοθαλάμου. Η πραγματική θερμοκρασία του φλογοθαλάμου βρέθηκε 1101°C, οπότε αυτή είναι και η θερμοκρασία των καπναερίων κατά την είσοδο τους στο αρχικό τμήμα του λέβητα. Σύμφωνα με τα δεδομένα (για να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής, λόγω κακής ψύξης του) η θερμοκρασία στην είσοδο του υπερθερμαντήρα θα είναι 900°C. Ένα ποσό θερμότητας λοιπόν των καπναερίων θα αποδοθεί στο αρχικό τμήμα του λέβητα με σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας τους.

Το ποσό αυτό της θερμότητας ισούται με:

$$Q_1 = (1 - x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm}(T_f - T_Y) \quad (4.2)$$

Όπου  $T_f=1101^\circ\text{C}$  η θερμοκρασία των καπναερίων στην είσοδο του αρχικού τμήματος

$T_Y=900^\circ\text{C}$  η επιθυμητή θερμοκρασία τους στην έξοδο του

$x_c=2,5\%$  σύμφωνα με τα δεδομένα, απώλειες ακτινοβολίας και αγωγιμότητας του αρχικού τμήματος

$B=4700\text{kg/h}$  η κατανάλωση καυσίμου

$V_R=6,6\text{Nm}^3/\text{kg}$  η πραγματική ποσότητα των καπναερίων

$c_{pm}=0,39\text{Kcal/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ , η σύμφωνα με τα δεδομένα μέση ειδική θερμότητα των

## καπναερίων

Οπότε η εξ.(4.2) θα είναι:

$$\begin{aligned} Q_1 &= (1 - x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm}(T_f - T_r) = \\ &= (1 - 0,025) \cdot 4700 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 6,6 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \cdot 0,39 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot (1101 - 900)^\circ\text{C} = \\ &= 0,975 \cdot 4700 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 6,6 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \cdot 0,39 \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot 201 = 2,37 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Ο τύπος με τον οποίο θα υπολογιστεί η θερμαινόμενη επιφάνεια του αρχικού τμήματος ατμοποίησης, είναι η βασική σχέση μεταβίβασης θερμότητας εντός εναλλακτών:

$$Q_1 = K \cdot F_1 \cdot (\Delta T_m)_{\log} \quad (4.3)$$

Όπου:  $Q_1=2,37 \cdot 10^6 \text{Kcal/h}$

$K=32 \text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$F_1=$ η ζητούμενη επιφάνεια

$(\Delta T_m)_{\log}=$ η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof για την

οποία ισχύει:

$$(\Delta T_m)_{\log} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} \quad (4.4)$$

Όπου:  $\Delta T_{\max}=$ η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ρευστών στο ένα άκρο του εναλλάκτη και

$\Delta T_{\min}=$  η ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ρευστών στο άλλο άκρο του εναλλάκτη.

Στο λέβητα που μελετάται, ως εναλλάκτης λειτουργεί το αρχικό τμήμα ατμοποίησης. Στο εξωτερικό μέρος των αυλών ρέουν καπναέρια με αρχική θερμοκρασία (στο πρώτο άκρο δηλαδή)  $1101^\circ\text{C}$  και τελική  $900^\circ\text{C}$  (στο άλλο άκρο). Εντός των αυλών υπάρχει νερό σε κατάσταση βρασμού σε θερμοκρασία  $253^\circ\text{C}$ .

Επομένως  $\Delta T_{\max}=1101-253=848^{\circ}\text{C}$  και  $\Delta T_{\min}=900-253=646,8^{\circ}\text{C}$

Η εξ.(4.4) θα είναι:

$$(\Delta T_m)_{\log} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} = \frac{848 - 646,8}{\ln \frac{848}{646,8}} = \frac{201,2}{0,27} \approx 745^{\circ}\text{C}$$

Και σύμφωνα με την εξ.(4.3), η επιφάνεια του αρχικού τμήματος θα είναι:

$$Q_1 = K \cdot F_1 \cdot (\Delta T_m)_{\log} \Leftrightarrow 2,37 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 32 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot F_1 \cdot 745^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow$$
$$F_1 = \frac{2,37 \cdot 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{32 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 745^{\circ}\text{C}} = 99,4 \text{m}^2$$

#### 4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ ΑΤΜΟΥ

Ο υπερθερμαντήρας ατμού, βρίσκεται αμέσως μετά το αρχικό τμήμα ατμοποίησης. Λειτουργεί και αυτός ως εναλλάκτης θερμότητας: λαμβάνει την θερμότητα από τα καπναέρια τα οποία έχουν θερμοκρασία  $900^{\circ}\text{C}$  και αυξάνει την θερμοκρασία του ατμού, ο οποίος αρχικά είναι σε θερμοκρασία  $253^{\circ}\text{C}$  και στη συνέχεια αυξάνεται λόγω της θερμότητας που μεταδίδεται από τα καπναέρια στους  $450^{\circ}\text{C}$  (σύμφωνα με τα δεδομένα).

Η θερμότητα  $Q_u$  που παραλαμβάνει ο υπερθερμαντήρας από τα καυσαέρια υπολογίζεται με την σχέση:

$$Q_u = D \cdot (h_5 - h_x) \tag{4.5}$$

Όπου:  $D=21760 \text{ kg/h}$ , η παραγωγή ατμού

$h_5$ =η ενθαλπία του παραγόμενου ξηρού ατμού (σχ.2.1, σημείο 5)

η οποία ισούται με  $3329 \text{ kJ/kg} = 3329/4,187 = 795,1 \text{ kcal/kg}$

$h_x$ =η ενθαλπία του ατμού που εισέρχεται στον υπερθερμαντήρα, ο οποίος

έχει ξηρότητα 0,98 και έχει βρεθεί ίση με  $660,59 \text{ kcal/kg}$

Άρα η εξ.(4.5) θα είναι:

$$Q_u = D \cdot (h_5 - h_x) = 21760 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (795,1 - 660,59) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 2,93 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Τα καπναέρια εισέρχονται με θερμοκρασία 900°C στον υπερθερμαντήρα και ένα μέρος της θερμότητας τους μεταδίδεται στον ατμό, ώστε η θερμοκρασία του να αυξάνεται από τους 253°C, στους 450°C. Σαν αποτέλεσμα έχουμε μείωση της θερμοκρασίας των καπναερίων στην έξοδο τους από τον υπερθερμαντήρα.

Ισχύει, αντίστοιχα με την εξ.(4.2):

$$Q_u = (1 - x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm} \cdot (T_2 - T_3)$$

Όπου:  $T_3$ =η θερμοκρασία μετά τον υπερθερμαντήρα

$c_{pm}=0,39\text{kcal}/\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$  η μέση ειδική θερμότητα των καπναερίων εντός του υπερθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$T_2=900^\circ\text{C}$  η θερμοκρασία στην είσοδο του υπερθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$x_c=2,5\%$  οι απώλειες από ακτινοβολία και αγωγιμότητα στον υπερθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$B=4700\text{kg}/\text{h}$ , η ωριαία κατανάλωση καυσίμου

$V_R=6,6\text{Nm}^3/\text{kg}$ , η πραγματική ποσότητα των καπναερίων

Λύνοντας ως προς  $T_3$  και αντικαθιστώντας προκύπτει:

$$T_3 = T_2 - \frac{Q_u}{(1-x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm}} = 900^\circ\text{C} - \frac{2,93 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{(1-0,025) \cdot 4700 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 6,6 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \cdot 0,39 \frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}}} \approx 652^\circ\text{C}$$

Η θερμαινόμενη επιφάνεια του υπερθερμαντήρα θα υπολογιστεί με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που υπολογίστηκε η θερμαινόμενη επιφάνεια του αρχικού τμήματος του ατμολέβητα [εξ.(4.3)], μιας και αυτός λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας, στο εσωτερικό του οποίου ρέει ατμός και στο εξωτερικό καπναέρια, τα οποία μεταδίδουν στον ατμό ένα μέρος της θερμότητάς τους.

Οι αρχικές και τελικές θερμοκρασίες του ατμού και των καπναερίων είναι γνωστές, οπότε ισχύει:

$$Q_u = K \cdot F_u \cdot (\Delta T_m)_{\log}$$

Όπου  $Q_u = 2,93 \cdot 10^6$  kcal/h (η θερμότητα που λαμβάνει από τα καυσαέρια ο υπερθερμαντήρας)

$K = 32$  kcal/m<sup>2</sup>°C, ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας στον υπερθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$(\Delta T_m)_{\log}$  = η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof για την οποία ισχύει:

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

Όπου:  $\Delta T_{\max}$  = η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ρευστών στο ένα άκρο του εναλλάκτη και

$\Delta T_{\min}$  = η ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ρευστών στο άλλο άκρο του εναλλάκτη

Επομένως  $\Delta T_{\max} = 900 - 450 = 450^\circ\text{C}$  και  $\Delta T_{\min} = 656 - 253,24 = 402,76^\circ\text{C}$

Άρα:

$$(\Delta T_m)_{\log} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} = \frac{450 - 402,76}{\ln \frac{450}{402,76}} = \frac{47,24}{0,111} = 425^\circ\text{C}$$

Σύμφωνα με τη βασική σχέση μεταβίβασης θερμότητας, η επιφάνεια του υπερθερμαντήρα θα είναι:

$$Q_u = K \cdot F_u \cdot (\Delta T_m)_{\log} \Leftrightarrow F_u = \frac{Q_u}{K \cdot (\Delta T_m)_{\log}} = \frac{2,93 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{32 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{°C}} \cdot 425^\circ\text{C}} = 215 \text{m}^2$$

#### 4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΕΛΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ

Στο τελικό τμήμα του λέβητα καταλήγουν οι οριζόντιες σωληνώσεις του άνω μέρους του φλογοθαλάμου, αφού περάσουν πρώτα από το πίσω μέρος του υπερθερμαντήρα. Οι σωληνώσεις αυτές καταλήγουν στο τύμπανο του λέβητα.

Στο τμήμα αυτό μεταδίδεται μέρος της συνολικής θερμότητας που προσδίδεται από τα καπναέρια για ατμοποίηση στο αρχικό και τελικό τμήμα του λέβητα ( $Q_D$ ). Συγκεκριμένα, αν από τη συνολική θερμότητα που παραλαμβάνεται για ατμοποίηση, αφαιρεθεί η θερμότητα που μεταδίδεται δι' ακτινοβολίας στον φλογοθάλαμο ( $Q_{af}$ ) και η θερμότητα που μεταδίδεται στο αρχικό τμήμα του λέβητα ( $Q_1$ ) θα προκύψει η θερμότητα που προσλαμβάνει το τελικό τμήμα ( $Q_2$ ).

Άρα :

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_D - Q_1 - Q_{af} = 11,53 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - 2,37 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - 5,77 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = \\ &= 3,39 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Τα καπναέρια του τελικού τμήματος μεταδίδουν μέρος της θερμότητας τους, στο νερό το οποίο είναι σε κατάσταση βρασμού εντός των αυλών. Η θερμοκρασία τους κατά την είσοδο στο τελικό τμήμα ισούται με την θερμοκρασία που έχουν μετά τον υπερθερμαντήρα και είναι  $656^\circ\text{C}$ . Η θερμοκρασία τους μετά το τελικό τμήμα θα βρεθεί με την αντίστοιχη της εξ.(4.2):

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

Όπου:  $T_4$ =η θερμοκρασία καπναερίων μετά το τελικό τμήμα

$B=4700\text{kg/h}$ , η κατανάλωση καυσίμου

$V_R=6,6\text{Nm}^3/\text{kg}$ , η πραγματική ποσότητα καπναερίων

$c_{pm}=0,39\text{kcal/Nm}^3\text{C}$ , η μέση ειδική θερμότητα των καπναερίων (σύμφωνα με τα δεδομένα).

$x_c=2,5\%$ , το ποσοστό απωλειών ακτινοβολίας και αγωγιμότητας προς την τοιχοποιία και ύστερα προς το περιβάλλον του τελικού τμήματος (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$T_3=652^\circ\text{C}$ , η θερμοκρασία καπναερίων κατά την είσοδο τους στο τελικό τμήμα

Άρα θα είναι:

$$Q_2 = (1 - x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm} \cdot (T_3 - T_4) \Leftrightarrow T_4 = T_3 - \frac{Q_2}{(1 - x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm}} =$$

$$= 652^\circ C - \frac{3,39 \cdot 10^6 \frac{kcal}{h}}{(1 - 0,025) \cdot 4700 \frac{kg}{h} \cdot 6,6 \frac{Nm^3}{kg} \cdot 0,39 \frac{kcal}{Nm^3 \cdot C}} \approx 364,6^\circ C$$

Η θερμαινόμενη επιφάνεια του τελικού τμήματος θα υπολογιστεί με τον τρόπο που βρέθηκε και η επιφάνεια του αρχικού τμήματος, καθώς και του υπερθερμαντήρα, μιας και το τελικό τμήμα λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας.

Για να προσδιοριστεί η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας, θα βρεθούν οι διαφορές θερμοκρασίας στα άκρα του εναλλάκτη.

Τα καπναέρια έχουν αρχική θερμοκρασία  $652^\circ C$  και τελική  $364,6^\circ C$  και το νερό σε κατάσταση βρασμού εντός του τυμπάνου  $253^\circ C$  οπότε:

$$\Delta T_{\max} = 652 - 253 \approx 399^\circ C \text{ και } \Delta T_{\min} = 364,6 - 253 \approx 111,6^\circ C$$

$$(\Delta T_m)_{\log} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} = \frac{399 - 111,6}{\ln \frac{399}{111,6}} = \frac{287,4}{1,27} \approx 226,3^\circ C$$

Η επιφάνεια λοιπόν του τελικού τμήματος, σύμφωνα με την βασική σχέση μεταβίβασης θερμότητας θα είναι:

$$Q_2 = K \cdot F_2 \cdot (\Delta T_m)_{\log}$$

Όπου  $Q_2 = 3,39 \cdot 10^6$  kcal/h (θερμότητα που λαμβάνει από τα καυσαέρια

το τελικό τμήμα)

$K = 32$  kcal/m<sup>2</sup>·C, ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας στον υπερθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$(\Delta T_m)_{\log}$  = η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof

Επομένως η επιφάνεια του τελικού τμήματος θα είναι:



$$Q_2 = K \cdot F_2 \cdot (\Delta T_m)_{log} \Leftrightarrow F_2 = \frac{Q_2}{K \cdot (\Delta T_m)_{log}} = \frac{3,39 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{32 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot 226,3^\circ\text{C}} \approx 468 \text{m}^2$$

#### 4.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ ΝΕΡΟΥ

Στον προθερμαντήρα νερού η θερμότητα που έχουν τα καπναέρια που εξέρχονται από το τελικό τμήμα μεταδίδεται στο νερό τροφοδοσίας του λέβητα. Έτσι η ενθαλπία  $q_w$  του εισερχόμενου στον προθερμαντήρα τροφοδοτικού νερού θερμοκρασίας  $60^\circ\text{C}$ , αυξάνεται σε  $q_o$  όταν εξέρχεται από τον προθερμαντήρα με θερμοκρασία  $130^\circ\text{C}$ . Η ενθαλπία του νερού είναι ίδια πριν και μετά την αντλία τροφοδοσίας, οπότε στην είσοδο του προθερμαντήρα θα είναι σύμφωνα με το σχ.2.1  $61 \text{kcal/kg}$ . Η ενθαλπία  $q_o$  του νερού στην έξοδο του προθερμαντήρα είναι  $130,5 \text{kcal/kg}$ .

Η θερμότητα που απορροφάει το τροφοδοτικό νερό, με την παραδοχή ότι δεν υπάρχουν απώλειες νερού, ότι είναι ίση δηλαδή η ποσότητα του τροφοδοτικού νερού με την ποσότητα του παραγόμενου ατμού εκφράζεται με την:

$$Q_v = D \cdot (q_o - q_w) \tag{4.6}$$

Όπου  $D=21760 \text{kg/h}$ , η ποσότητα του παραγόμενου ατμού

Οπότε η εξ.(4.6):

$$\begin{aligned} Q_v = D \cdot (q_o - q_w) &= 21760 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \left( 130,5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} - 61 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) = 21760 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 69,5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\ &= 1,51 \cdot 10^6 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Στον προθερμαντήρα γίνεται εναλλαγή θερμότητας. Μεταδίδεται θερμότητα από τα καπναέρια στο τροφοδοτικό νερό,  $Q_v=1,51 \cdot 10^6 \text{kcal/h}$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και μείωση της θερμοκρασίας των καπναερίων. Ισχύει η αντίστοιχη με την εξ.(4.2):

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

Όπου:  $x_c=2,5\%$  το ποσοστό απωλειών ακτινοβολίας και αγωγιμότητας προς την

τοιχοποιΐα και ύστερα προς το περιβάλλον του προθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$B=4700\text{kg/h}$ , η κατανάλωση καυσίμου

$V_R=6,6\text{Nm}^3/\text{kg}$ , η πραγματική ποσότητα καπναερίων

$c_{pm}=0,39\text{kcal}/\text{Nm}^3\text{C}$ , η μέση ειδική θερμότητα των καπναερίων (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$T_4$ =η θερμοκρασία των καπναερίων στην είσοδο του προθερμαντήρα

$T_5$ =η θερμοκρασία των καπναερίων στην έξοδο του προθερμαντήρα

Άρα θα είναι:

$$T_5 = T_4 - \frac{Q_V}{(1-x_c) \cdot B \cdot V_R \cdot c_{pm}} = 364,6 - \frac{1,51 \cdot 10^6 \text{ kcal/h}}{(1-0,025) \cdot 4700 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 6,6 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \cdot 0,39 \frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3\text{C}}} = 236,6^\circ\text{C}$$

Η θερμοκρασία αυτή θεωρείται αποδεκτή, διότι δεν υπάρχει κίνδυνος διαβρώσεων από το σχηματιζόμενο θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) λόγω της μικρής ποσότητας θείου (**s**), που υπάρχει στο καύσιμο και λόγω των χρησιμοποιούμενων χαλύβων υψηλής αντοχής στις διαβρώσεις.

Εφόσον είναι γνωστή η  $T_5$  και η  $Q_V$  μπορεί να υπολογιστεί και η θερμαινόμενη επιφάνεια του προθερμαντήρα νερού, αφού πρώτα υπολογιστεί η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof, όπως έγινε και για τα άλλα τμήματα του λέβητα, τα οποία λειτουργούν σαν εναλλάκτες.

Ισχύει  $\Delta T_{\max}=364,6-130=234,6^\circ\text{C}$  και  $\Delta T_{\min}=236,6-60=176,6^\circ\text{C}$

Οπότε:

$$(\Delta T_m)_{\log} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} = \frac{234,6 - 176,6}{\ln \frac{234,6}{176,6}} = \frac{58}{0,28} = 207^\circ\text{C}$$

Η επιφάνεια λοιπόν του προθερμαντήρα, σύμφωνα με την βασική σχέση μεταβίβασης θερμότητας θα είναι:

$$Q_v = K \cdot F_v \cdot (\Delta T_m)_{\log}$$

Όπου  $Q_v = 1,51 \cdot 10^6$  kcal/h (θερμότητα που λαμβάνει από τα καυσαέρια ο προθερμαντήρας)

$K = 32$  kcal/m<sup>2</sup>°C, ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας στον προθερμαντήρα (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$(\Delta T_m)_{\log}$  = η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας κατά Grashof

Επομένως η επιφάνεια του προθερμαντήρα θα είναι:

$$F_v = \frac{Q_v}{K \cdot (\Delta T_m)_{\log}} = \frac{1,51 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{32 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{°C}} \cdot 207^\circ \text{C}} = 228 \text{m}^2$$

## 5. ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΣ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σκοπός είναι να υπολογιστεί ο φυσικός ελκυσμός, δηλαδή η στατική πίεση που δημιουργείται από την θερμή στήλη των καπναερίων εντός της καπνοδόχου, σε σχέση με τον ψυχρότερο αέρα του περιβάλλοντος, αλλά για τις δυσμενέστερες συνθήκες, δηλαδή καλοκαίρι και θερμοκρασία 35°C.

Επίσης δεδομένου του ύψους της καπνοδόχου (30m), θα βρεθεί η διάμετρος της κορυφής και της βάσης του και θα βρεθούν και τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα καπναερίων, δηλαδή η παροχή του, το μανομετρικό του και η ισχύς του.

Πηγή αποτελεί το βιβλίο “Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός επίλυσης Ασκήσεων Πράξης” του καθηγητή μου κ. Γιαννόπουλου Ανδρέα, στο οποίο υπάρχει η μεθοδολογία και οι τύποι που χρησιμοποιούνται.

## 5.2 ΦΥΣΙΚΟΣ ΕΛΚΥΣΜΟΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ

Για τον φυσικό ελκυσμό της καπνοδόχου ( $h_{st}$ ) ισχύει:

$$h_{st} = 273 \cdot h_o \cdot \left[ \frac{\gamma_{oL}}{273+T_L} - \frac{\gamma_{oR}}{273+T_{mR}} \right] \quad (5.1)$$

Όπου:  $h_o$ =το ύψος της στήλης των θερμών καπναερίων, δηλαδή η διαφορά του ύψους της καπνοδόχου, μείον το μέσο ύψος της θέσης των καυστήρων, το σημείο δηλαδή εισόδου του αέρα στον ατμολέβητα. Θεωρώντας ότι οι καυστήρες βρίσκονται σε αμελητέο ύψος, σε σχέση με το έδαφος, θα θεωρήσουμε  $h_o=30m$ , όσο είναι δηλαδή και το ύψος της καπνοδόχου (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$\gamma_L=1,28Kp/Nm^3$ , το ειδικό βάρος του αέρα στο περιβάλλον (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$\gamma_R=1,28Kp/Nm^3$ , το ειδικό βάρος των καπναερίων πυρηνόξυλου στους  $0^\circ C$  (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$T_L=H$  θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της θερμοκρασίας καπναερίων και περιβάλλοντος, τόσο αυξάνεται ο φυσικός ελκυσμός. Επειδή είναι ζητούμενο ο υπολογισμός του φυσικού ελκυσμού στις δυσμενέστερες συνθήκες, θα ληφθεί ως  $T_L$  μια αυξημένη καλοκαιρινή θερμοκρασία, ώστε να βρεθεί και η μικρότερη δυνατή τιμή του φυσικού ελκυσμού.

$T_{mR}=H$  μέση θερμοκρασία της στήλης καπναερίων. Τα καπναέρια όσο πλησιάζουν την έξοδο της καπνοδόχου, ψύχονται, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας με το περιβάλλον.

Για τις κτιστές καπνοδόχους η διαφορά θερμοκρασίας καθ' ύψος λαμβάνεται περίπου:  $\Delta T=0,4^\circ C/m$  οπότε η θερμοκρασία στην κορυφή της καπνοδόχου (30m) θα είναι:

$$T_K=T_R-\Delta T \cdot h_o=236,6^\circ C-0,4 \cdot 30m=224,6^\circ C$$

Άρα η μέση θερμοκρασία θα είναι:

$$T_{mR} = \frac{T_R + T_k}{2} = \frac{236,6 + 224,6}{2} = \frac{461,2}{2} = 230,6^\circ$$

Η εξ.(5.1) λοιπόν θα είναι:

$$H_{st} = 273 \cdot h_o \cdot \left[ \frac{\gamma_{oL}}{273 + T_L} - \frac{\gamma_{oR}}{273 + T_{mR}} \right] = 273 \cdot 30 \cdot \left[ \frac{1,28}{273 + 35} - \frac{1,28}{273 + 230,6} \right] =$$

$$13,2 \text{ mmH}_2\text{O} = 132 \text{ Pa} \quad (1 \text{ mmH}_2\text{O} = 10 \text{ Pa})$$

### 5.3 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Σε προηγούμενη παράγραφο έχει βρεθεί ότι η πραγματική ποσότητα των καπναερίων είναι  $V_R = 6,6 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ . Σε μία ώρα λοιπόν που καταναλώνονται 4700kg καυσίμου, η συνολική ποσότητα θα είναι:

$$V'_R = B \cdot V_R = 4700 \text{ kg/h} \cdot 6,6 \text{ Nm}^3/\text{kg} = 31020 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Τα αέρια με την αύξηση της θερμοκρασίας διαστέλλονται, οπότε στην έξοδο τους από την κορυφή της καπνοδόχου, λόγω της υψηλής τους θερμοκρασίας, θα έχουν αυξημένο όγκο.

Ισχύει:

$$Q = V'_R \cdot \frac{273 + T_k}{273} \tag{5.2}$$

Όπου:  $T_k = 224,6^\circ\text{C}$ , η θερμοκρασία των καπναερίων στην κορυφή της καπνοδόχου (βρέθηκε στην παρ.5.2)

Άρα η εξ.(5.2) θα είναι:

$$Q = V'_R \cdot \frac{273 + T_k}{273} = 31020 \cdot \frac{273 + 224,6}{273} = 56540 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 5.4 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ

Για την διάμετρο της κορυφής της καπνοδόχου ισχύει:

$$d = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (5.3)$$

Όπου  $Q=56540\text{m}^3/\text{h}$ , ο πραγματικός όγκος των καπναερίων

$v=10\text{m/s}$ , η ταχύτητα των καπναερίων (σύμφωνα με τα δεδομένα)

Άρα η εξ.(5.3) θα είναι:

$$d = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{56540 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 1414\text{mm} \approx 1,4\text{m}$$

Για να βρεθεί η διάμετρος της βάσης (επιδιώκεται να έχει μια ελαφρά κωνικότητα η καπνοδόχος για στατικούς λόγους), θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος:

$$D=d+(0,018) \cdot 30=1,4+0,018 \cdot 30 \approx 1,9\text{m}$$

Επομένως η καπνοδόχος θα έχει διάμετρο βάσης 1,9m και διάμετρο κορυφής 1,4m.

#### 5.5 ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΙ ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

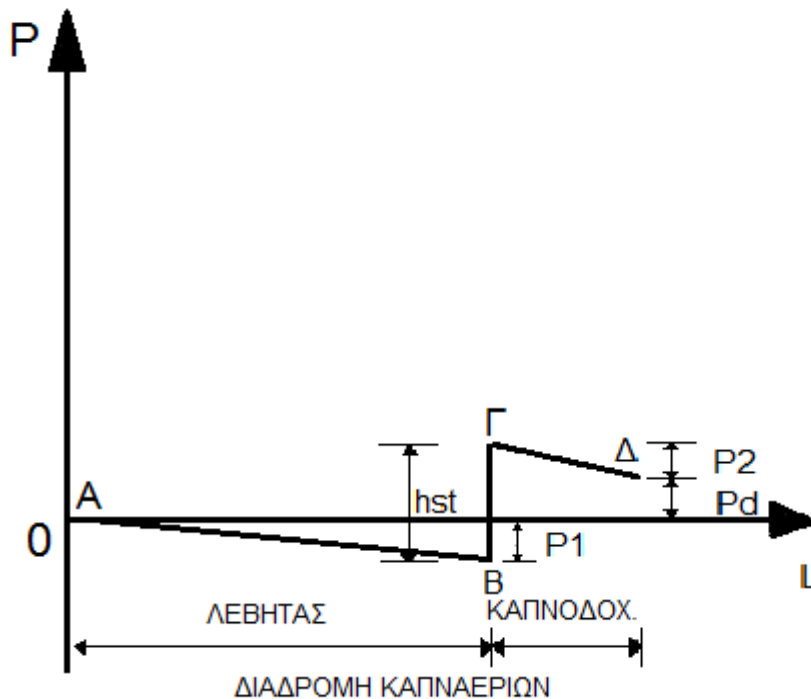
Η παροχή του ανεμιστήρα πρέπει να ισούται με τον πραγματικό όγκο των καπναερίων. Σε προηγούμενο βήμα, βρέθηκε ο όγκος τους στην κορυφή της καπνοδόχου. Με τον ίδιο τρόπο, θα βρεθεί ο όγκος τους στην βάση της καπνοδόχου, γιατί όπως αναφέρθηκε και πριν, όταν αλλάζει η θερμοκρασία των καπναερίων, αλλάζει και ο όγκος τους.

Σύμφωνα λοιπόν με την εξ.(5.2):

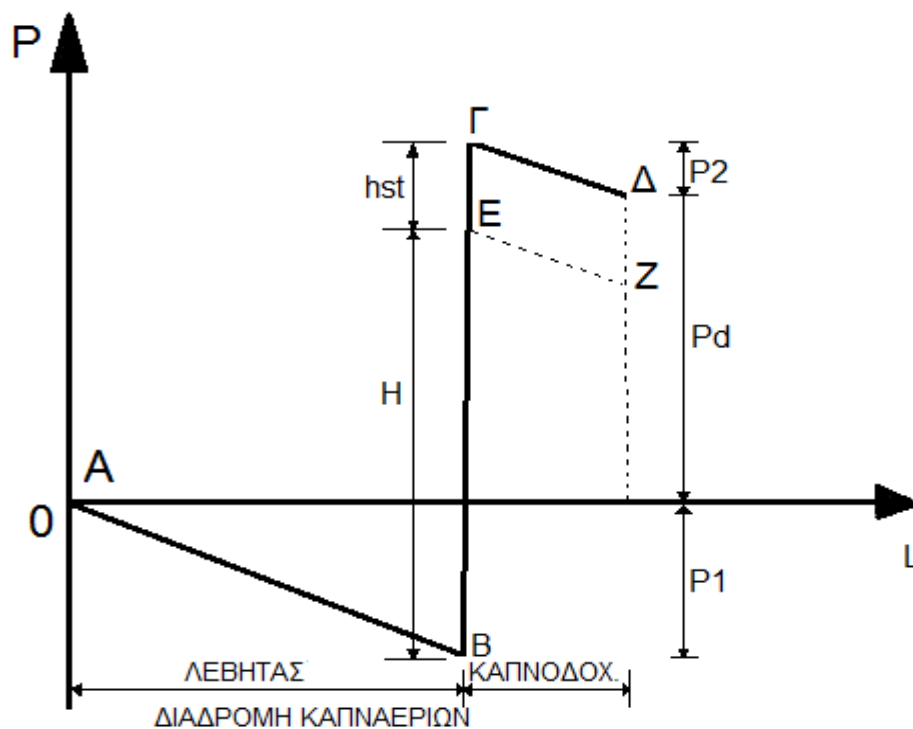
$$Q = V'_R \cdot \frac{273+T_R}{273} = 31020 \cdot \frac{273+236,6}{273} = 31020 \cdot 1,866 = 57883 \frac{m^3}{h}$$

Για να φεύγουν με την απαιτούμενη ταχύτητα τα καπναέρια από την καπνοδόχο, πρέπει το μανομετρικό του ανεμιστήρα να έχει τέτοια τιμή, ώστε να υπερνικούνται οι απώλειες πίεσης στη διαδρομή των καπναερίων.

Ο ρόλος του ανεμιστήρα γίνεται περισσότερο κατανοητός στα παρακάτω σχέδια, στα οποία απεικονίζεται η μεταβολή των πιέσεων των καπναερίων κατά μήκος της διαδρομής τους, από τον φλογοθάλαμο, μέχρι την κορυφή της καπνοδόχου, με ή χωρίς τη χρήση του ανεμιστήρα.



**Σχήμα 5.1:** Υποβοήθηση ροής καυσαερίων με φυσικό τρόπο



**Σχήμα 5.2:** Υποβοήθηση ροής καυσαερίων και από τον ανεμιστήρα και εξαιτίας του φυσικού ελκυσμού.

Η πίεση στην εστία έχει ληφθεί ίση με το μηδέν και στις δύο περιπτώσεις (η οποία στην πραγματικότητα, είναι σε άλλες περιπτώσεις οριακά υπό του μηδενός και σε άλλες έχει θετική τιμή).

Και στα δυο σχέδια, το σημείο A παριστάνει τον φλογοθάλαμο στον οποίο εισέρχεται ο αέρας καύσης, το σημείο B την βάση της καπνοδόχου, το σημείο Γ επίσης την βάση της καπνοδόχου, αλλά αφού δράσει ο φυσικός ελκυσμός (ή και ο ανεμιστήρας) και αυξηθεί η πίεση των καπναερίων και το σημείο Δ, την κορυφή της καπνοδόχου.

Παρατηρείται πτώση πίεσης των καπναερίων και στα δύο σχήματα, κατά την διαδρομή τους στον λέβητα, στο Σχ.5.2 όμως η πτώση πίεσης είναι μεγαλύτερη.

Επίσης η αύξηση της πίεσης από το σημείο B στο σημείο Γ, είναι μεγαλύτερη στο Σχ.5.2 επειδή εκτός από τον φυσικό ελκυσμό, δρα και ο ανεμιστήρας.

Το σημαντικότερο αποτέλεσμα της χρήσης του ανεμιστήρα, φαίνεται στο Σχ.5.2

όπου η δυναμική πίεση που αναπτύσσεται στην έξοδο τους από την καπνοδόχο είναι μεγαλύτερη, σε σχέση με αυτή του Σχ.5.1



Στο Σχ.5.2 το σημείο Ε είναι το σημείο στο οποίο σταματά η αύξηση της πίεσης λόγω του ανεμιστήρα (από το σημείο Β στο σημείο Ε) και αρχίζει η αύξηση της πίεσης λόγω φυσικού ελκυσμού (από το σημείο Ε στο σημείο Γ).

Ισχύει:

$$H+h_{st}=P_1+P_d+P_2 \quad (5.4)$$

Όπου:  $P_1+P_2=1200\text{Pa}$  οι απώλειες πίεσης σε όλη τη διαδρομή των

καπναερίων (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$h_{st}=132\text{Pa}$ , το στατικό ύψος πίεσης από τον φυσικό ελκυσμό

$P_d$ =η δυναμική πίεση στην κορυφή της καπνοδόχου

Για την  $P_d$  ισχύει:

$$P_d = \rho \cdot \frac{u^2}{2} \quad (5.5)$$

Όπου:  $u=10\text{m/s}$ , η ταχύτητα των καπναερίων στην έξοδο της καπνοδόχου

$\rho=0,74\text{kp/Nm}^3$ , η πυκνότητα των καπναερίων στο στόμιο εξόδου της

καπνοδόχου στην θερμοκρασία των  $224,6^\circ\text{C}$  (σύμφωνα με τα δεδομένα)

Άρα η εξ.(5.5) θα είναι:

$$P_d = \rho \cdot \frac{u^2}{2} = 0,74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{(10 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 37 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}/\text{sec}^2}{\text{m}^2} = 37 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 37\text{Pa}$$

Και η εξ.(5.4) θα είναι:

$$H=P_1+P_d+P_2- h_{st}=1200+37-132=1105\text{Pa} \approx 111\text{mmH}_2\text{O}$$

Η παροχή λοιπόν του ανεμιστήρα σύμφωνα με τους υπολογισμούς της παραγράφου 5.3 θα είναι  $56540\text{m}^3/\text{h}$  και το μανομετρικό  $111\text{mmH}_2\text{O}$

## 5.6 ΙΣΧΥΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ισχύς του ανεμιστήρα υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$N = \frac{Q \cdot H}{10^3 \cdot 367 \cdot \eta} \quad (5.6)$$

Όπου:  $Q=56540\text{m}^3$ , η παροχή του ανεμιστήρα

$H=111\text{mmH}_2\text{O}$ , το μανομετρικό

$\eta=60\%$ , ο βαθμός απόδοσης (σύμφωνα με τα δεδομένα)

Οπότε η εξ.(5.6) θα είναι:

$$N = \frac{Q \cdot H}{10^3 \cdot 367 \cdot \eta} = \frac{56540 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 111\text{mmH}_2\text{O}}{10^3 \cdot 367 \cdot 0,6} = \frac{6275940 \text{ m}^3\text{mmH}_2\text{O}}{220200 \text{ h}} = 28,5\text{KW}$$

Επειδή μπορεί να προκύψουν υπερφορτίσεις του κινητήρα, η ισχύς θα προσαυξηθεί κατά 20%, επομένως θα είναι  $28,5 \cdot 1,2=34,2\text{KW}$

Τα KW αυτά αντιστοιχούν σε  $34,2 \cdot 1,34\text{HP/KW}=45,8\text{HP}$

Η απαιτούμενη λοιπόν ισχύς της αντλίας είναι 46HP.

## 6. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ ΝΕΡΟ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνονται οι υπολογισμοί που αφορούν το τροφοδοτικό νερό του λέβητα και το σύστημα αποσκλήρυνσης. Σχετικά με το νερό, υπολογίζεται η ποσότητα επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων, η ποσότητα του νερού της συνεχούς εκβόρβωσης (στρατσώνα), η συνολική ποσότητα του νερού που εισάγεται στον Ατμοπαραγωγό, η ποσότητα του νερού που πρέπει να αντλείται από την πηγή, για να αντισταθμίζονται οι απώλειες και η ισχύς της αντλίας του νερού.

Όσον αφορά το σύστημα αποσκλήρυνσης, υπολογίζεται η ποσότητα νερού που απαιτείται από αναγέννηση σε αναγέννηση, η ποσότητα ρητινών που θα χρησιμοποιηθούν και η ποσότητα των αναγεννητικών διαλυμάτων.

Πηγή αποτελεί το βιβλίο “Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός επίλυσης Ασκήσεων Πράξης” του καθηγητή μου κ. Γιαννόπουλου Ανδρέα, στο οποίο υπάρχει η μεθοδολογία και οι τύποι που χρησιμοποιούνται.

### 6.2 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΠΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΩΝ

Η ποσότητα των επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων ( $m_c$ ) θα βρεθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι από τους συνολικά 21,76t/h ατμού που παράγονται, οι συνολικές απώλειες είναι 3% (σύμφωνα με τα δεδομένα).

Άρα για την  $m_c$  ισχύει:

$$m_c = D - 3\%D = 21,76 - 0,65 = 21,11 \text{ t/h}$$

Επομένως η μάζα των επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων είναι  $m_c = 21,11 \text{ t/h}$

### 6.3 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΣΤΡΑΤΣΩΝΑΣ

Η στρατσώνα (εκβόρβωση) είναι η αποβολή νερού από το τύμπανο του λέβητα προς την αποχέτευση, ώστε η συγκέντρωση αλάτων στο τύμπανο να μην υπερβαίνει κάποια συγκεκριμένα όρια. Σε διαφορετική περίπτωση θα προκληθούν καταλατώσεις λεβητόλιθου στο εσωτερικό του ατμολέβητα.

Τα όρια αυτά αποτελεί η συγκέντρωση πυριτικών ( $\text{SiO}_2$ ) στο τύμπανο, μιας και το σύστημα αποσκλήρυνσης που χρησιμοποιείται, δεν τα δεσμεύει. Ανάλογα με την πίεση στον λέβητα, αυτά τα όρια μεταβάλλονται.

Για τον λέβητα που μελετάται, με πίεση λειτουργίας 42bar, το όριο είναι 10ppm $\text{SiO}_2$ .

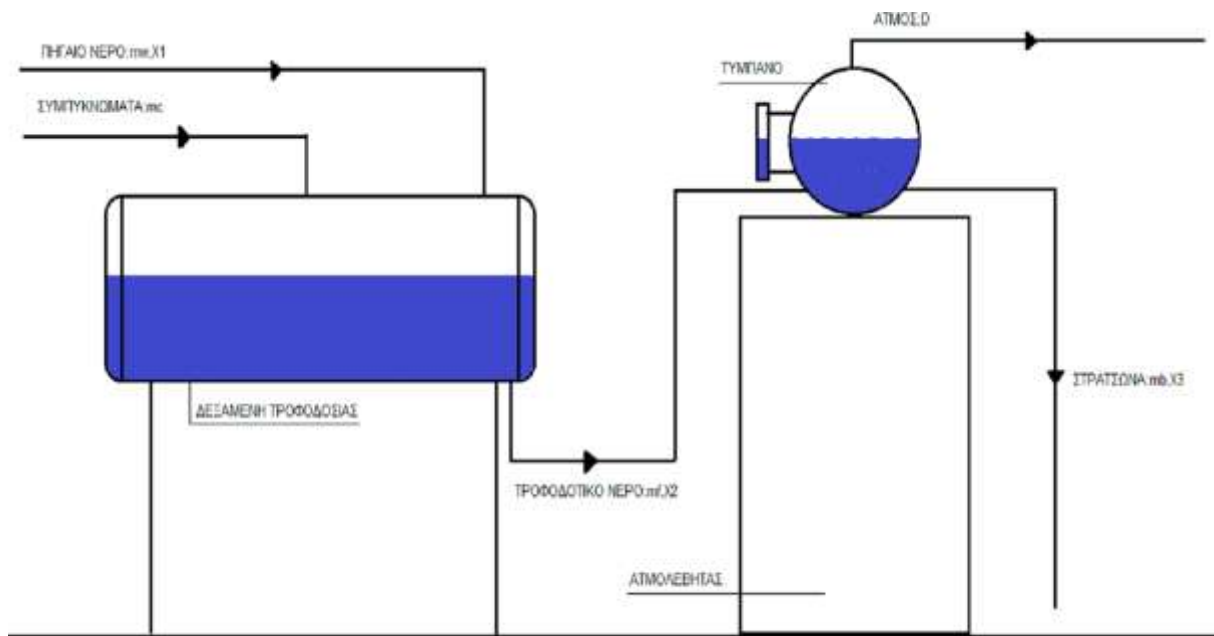
Ο ζητούμενος όγκος νερού θα βρεθεί με την σχέση:

$$Q_1 = v_4 \cdot m_b \quad (6.1)$$

Όπου:  $m_b$  = η ποσότητα του νερού στρατσώνας

$v_4 = 0,0012 \text{ m}^3/\text{kg}$  ο ειδικός όγκος του νερού, όταν στο σημείο 3 του

διαγράμματος Rankine (Σχ. 1.1) (θερμοκρασία  $T_4 = 253,24^\circ\text{C}$ )



Σχήμα 6.1: Τροφοδοτικό νερό ατμολέβητα

Η  $m_b$  θα βρεθεί βάσει του ισολογισμού συγκεντρώσεων πυριτικών, ο οποίος προκύπτει από το Σχ.6.1

Στο Σχ.6.1 ως  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  ορίζονται οι συγκεντρώσεις πυριτικών στο αντλούμενο νερό, στην δεξαμενή τροφοδοσίας και η ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση πυριτικών στο τύμπανο αντίστοιχα ( $X_1=8$  ppmSiO<sub>2</sub>,  $X_3=10$  ppmSiO<sub>2</sub> σύμφωνα με τα δεδομένα).

Επίσης ως  $m_c$ ,  $m_w$ ,  $m_f$ ,  $m_b$ , ορίζονται η ποσότητα συμπυκνωμάτων, η ποσότητα πηγαίου νερού, η ποσότητα τροφοδοτικού νερού και η ποσότητα νερού στρατσώνας αντίστοιχα.

Τέλος ως  $D$  ορίζεται η ποσότητα του ατμού.

Σύμφωνα λοιπόν και με το σχήμα:

$$\text{Στην δεξαμενή τροφοδοσίας ισχύει :} \quad m_w \cdot X_1 + m_c \cdot 0 = m_f \cdot X_2 \quad (\text{i})$$

$$\text{Στο εσωτερικό του λέβητα:} \quad m_f \cdot X_2 = m_b \cdot X_3 + D \cdot 0 \quad (\text{ii})$$

$$\text{Γενικότερα:} \quad m_w + m_c = m_f \quad (\text{iii})$$

$$D + m_b = m_f \quad (\text{iv})$$

$$\text{Οι σχέσεις (i) και (ii) δίνουν:} \quad m_w \cdot X_1 = m_b \cdot X_3 \quad (\text{v})$$

$$\text{Και οι (iii) και (iv):} \quad m_w + m_c = D + m_b \Rightarrow m_w = D + m_b - m_c \quad (\text{vi})$$

Από (v) και (vi) προκύπτει:

$$(D + m_b - m_c) \cdot X_1 = m_b \cdot X_3 \Rightarrow m_b = (D - m_c) \frac{X_1}{X_3 - X_1} \quad (6.2)$$

Για την επίλυση της εξ.(6.2) τα  $D$ ,  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $m_c$  είναι γνωστά από τα δεδομένα ή προηγούμενες παραγράφους.

Άρα η εξ.(6.2) θα είναι:

$$m_b = (D - m_c) \frac{X_1}{X_3 - X_1} = (21,76 - 21,11) \frac{8}{10 - 8} = 2,6 \frac{t}{h}$$

Από την εξ.(6.1) προκύπτει:

$$Q_1 = v_4 \frac{m^3}{kg} \cdot m_b = 0,0012 \cdot 2600 \frac{kg}{h} = 3,1 \frac{m^3}{h}$$

#### 6.4 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΕΙΣΕΡΧΕΤΑΙ ΣΤΟΝ ΛΕΒΗΤΑ

Η συνολική ποσότητα του νερού που εισέρχεται στον λέβητα ( $m_f$ ) ισούται με το άθροισμα της ποσότητας του νερού που αποβάλλεται μέσω της στρατσώνας και της ποσότητας του παραγόμενου ατμού.

Άρα:

$$m_f = D + m_b = 21,76 \text{ t/h} + 3,1 \text{ t/h} = 24,86 \text{ t/h}$$

Ο όγκος αυτών των 24,86 τόνων νερού, θα βρεθεί αν πολλαπλασιαστούν με τον ειδικό όγκο του νερού στη συγκεκριμένη κατάσταση. Η κατάσταση αυτή, αντιστοιχεί στο σημείο 2 του Σχ.2.1. Η θερμοκρασία του είναι 61,09°C και ο ειδικός του όγκος είναι 0,001 m<sup>3</sup>/kg.

Ο συνολικός λοιπόν όγκος του νερού που εισέρχεται στον λέβητα είναι:

$$Q_2 = v_3 \cdot m_f = 0,001 \frac{m^3}{kg} \cdot 24860 \frac{kg}{h} = 24,86 \frac{m^3}{h}$$

#### 6.5 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΝΤΛΟΥΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η ποσότητα του νερού που αντλείται από την πηγή, ισούται με την συνολική ποσότητα νερού που εισέρχεται στον λέβητα ( $m_f$ ) μείον την ποσότητα των επιστρεφόμενων συμπυκνωμάτων ( $m_c$ ). Είναι και οι δύο γνωστές από προηγούμενες παραγράφους, άρα:

$$m_w = m_f - m_c = 24,86 \text{ t/h} - 21,11 \text{ t/h} = 3,75 \text{ t/h}$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε αυτή τη θερμοκρασία είναι 0,001 m<sup>3</sup>/kg, επομένως ο όγκος του πηγαίου νερού είναι:

$$Q_3 = v_1 \cdot m_w = 0,001 \frac{m^3}{kg} \cdot 3750 \frac{kg}{h} = 3,75 \frac{m^3}{h}$$

## 6.6 ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η θεωρητική ισχύς της αντλίας υπολογίζεται με την σχέση:

$$N_{\theta\epsilon\omega\rho} = m_f \cdot v \cdot \Delta P \quad (6.3)$$

Όπου:  $\Delta P$ =η διαφορά πίεσης της αντλίας (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$v=1,017 \text{dcm}^3/\text{kg}$ , ο ειδικός όγκος του νερού στη αντλία τροφοδοσίας

Θεωρητικά θα ήταν  $\Delta P=42-0,2=41,8 \text{ bar}$

Η πραγματική διαφορά της πίεσης της αντλίας διαφέρει από την θεωρητική.

Το τύμπανο του λέβητα θα τοποθετηθεί 20m ψηλότερα από την αντλία, για κατασκευαστικούς λόγους. Επίσης 6m ψηλότερα από την αντλία θα τοποθετηθεί και η δεξαμενή του τροφοδοτικού νερού, για να υπάρχει καθαρή θετική πίεση ,στην αναρρόφηση της αντλίας. Τέλος, η πίεση καταθλίψεως θα προσαυξηθεί 3 bar σε σχέση με την πίεση του τυμπάνου, ώστε να καλυφθούν οι τριβές και να εισέρχεται το νερό στο τύμπανο.

Λόγω των 20m της διαφοράς ύψους αντλίας τυμπάνου, θα προστεθούν στην διαφορά πίεσης 20mH<sub>2</sub>O ( $\approx 2 \text{ bar}$ ).

Λόγω των 6m της διαφοράς ύψους αντλίας-δεξαμενής τροφοδοτικού νερού, θα αφαιρεθούν από τη διαφορά πίεσης 6mH<sub>2</sub>O ( $\approx 0,6 \text{ bar}$ ).

Επομένως:

$$\Delta P=42\text{bar}+3\text{bar}+2\text{bar}-0,2\text{bar}-0,6\text{bar}=46,2\text{bar}$$

Με αντικατάσταση στην εξ.(6.3) μπορεί να βρεθεί η ισχύς της αντλίας, αλλά θα γίνουν κάποιες αλλαγές, επειδή η απαιτούμενη ισχύς στην πράξη είναι αρκετά μεγαλύτερη, για τους εξής λόγους:

-Η αντλία στην πράξη έχει 70% απόδοση ( $n_a$ ).

-Επειδή μπορεί να προκύψουν ανάγκες ταχείας συμπληρώσεως νερού στον λέβητα, η παροχή νερού θα αυξηθεί κατά 25%

-Θα γίνει και μια τελική προσαύξηση 10% για τον κινητήρα της αντλίας

Επομένως η εξ.(6.3) μετατρέπεται ως εξής:

$$N_{θεωρ} = \frac{1,25 \cdot m_f \cdot v \cdot \Delta P \cdot 1,1}{0,7} = \frac{1,25 \cdot 24860 \frac{kg}{h} \cdot 1,017 \frac{dcm^3}{kg} \cdot 46,2bar \cdot 1,1 \cdot 10^{-1}}{0,7 \cdot 3600} = 64KW$$

## 6.7 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΤΩΝ ΑΠΟ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΣΕ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

Το νερό που προέρχεται από την πηγή υφίσταται αποσκλήρυνση με σκοπό να μειωθεί η περιεκτικότητά του σε άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην εγκατάσταση.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αποσκλήρυνσης είναι η ιοντοεναλλαγή. Τα ανεπιθύμητα ιόντα του νερού ανταλλάσσονται συνήθως με ιόντα νατρίου ή υδρογόνου, μέσω ειδικής κατιονικής ρητίνης.

Όταν η ρητίνη ιοντοεναλλαγής κορεσθεί, τότε αυτόματα το σύστημα την αναγεννά, χρησιμοποιώντας στον αποσκληρυντή Α πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> με περιεκτικότητα 96%κ.β.

και στον Β αλατοδιάλυμα NaCl με πυκνότητα 22Be. Μετά τη διαδικασία της αναγέννησής της, η ρητίνη είναι έτοιμη για παραγωγή μαλακού νερού και πάλι.

Για τον αποσκληρυντή Α ισχύει:

Η παροχή πηγαίου νερού είναι όση και η παροχή πηγαίου νερού γενικότερα, δηλαδή

$$Q_3 = 3,75m^3/h$$

Η αποσκλήρυνση αποτελείται από τις εξής φάσεις: λειτουργία, ανάστροφη πλύση, αναγέννηση, ξέπλυμα, σταυρωτές πλύσεις.

Η διάρκεια της κάθε φάσης δεν μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, γιατί εξαρτάται από τις χημικές μετρήσεις που γίνονται με σκοπό να διαπιστωθεί αν έχει ολοκληρωθεί όπως προβλέπεται η φάση. Κατά συνέπεια δεν μπορεί να υπολογιστεί ούτε ο όγκος νερού που καταναλώνεται από αναγέννηση σε αναγέννηση. Επειδή όμως σύμφωνα με τα δεδομένα η συνολική διάρκεια μεταξύ των αναγεννήσεων είναι 24 ώρες, ο συνολικός όγκος που διαπερνά τον αποσκληρυντή Α είναι:



$$V_A = \Delta T_1 \cdot Q_3 = 24h \cdot 3,75m^3/h = 90m^3$$

Τα ίδια ισχύουν και για τον αποσκληρυντή B, επομένως

$$V_B = \Delta T_2 \cdot Q_3 = 24h \cdot 3,75m^3/h = 90m^3$$

## 6.8 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΡΗΤΙΝΗΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΕΙ Ο ΚΑΘΕ ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΤΗΣ

Η ασθενής ρητίνη του αποσκληρυντή A, σύμφωνα με τα δεδομένα δεσμεύει το 93% της παροδικής σκληρότητας του πηγαίου νερού. Η σκληρότητα εκφράζεται μέσω της αλκαλικότητας η οποία σύμφωνα με τα δεδομένα είναι 6mval/lit.

$$\text{Άρα: } \Delta M = 0,93 \cdot M = 0,93 \cdot 6mval/lit = 5,58mval/lit$$

Από τον ισολογισμό της σκληρότητας που αφαιρείται από την ρητίνη και προστίθεται στο νερό, ισχύει:

$$V_R \cdot A = H_k \cdot V_{H_2O} \quad (6.4)$$

Όπου:  $V_{H_2O} = 90m^3$ , η ποσότητα νερού μεταξύ των αναγεννήσεων

$\Delta M = 5,58mval/lit$ , η μεταβολή αλκαλικότητας κατά την δέσμευση της παροδικής σκληρότητας

$A = 40grCaO/lit-R$ , η ικανότητα ρητίνης για δέσμευση ιόντων (σύμφωνα με τα δεδομένα)

$H_k$  = η ποσότητα σκληρότητας που δεσμεύεται από τον αποσκληρυντή

Για την  $H_k$  ισχύει:  $H_k = 28 \cdot \Delta M$

(Είναι γνωστό ότι 1°Dh ισοδυναμεί με 10mgrCaO/lit-διαλύματος και ότι  $H_k = 2,8 \cdot \Delta M \cdot 10mgrCaO/lit$ )

Αντικαθιστώντας στην εξ.(6.4) προκύπτει:

$$V_R = \frac{28 \cdot \Delta M \cdot V_{H_2O}}{A} = \frac{28 \cdot 5,58 \frac{mval}{lt} \cdot 90 m^3}{40 \frac{grCaO}{lt-R}} = 351 [lt - R]$$

Η ισχυρή κατιονική ρητίνη του αποσκληρυντή Β, δεσμεύει τόσο την μόνιμη, όσο και την παροδική σκληρότητα του νερού. Επομένως, δεσμεύεται η υπολοιπόμενη παροδική σκληρότητα, που διέφυγε από τον αποσκληρυντή Α καθώς και η μόνιμη σκληρότητα του νερού.

Αντίστοιχα θα γίνουν οι υπολογισμοί και για τον αποσκληρυντή Β, του οποίου η απόδοση είναι 97%.

Από τον ισολογισμό της σκληρότητας που αφαιρείται από την ρητίνη και προστίθεται στο νερό, ισχύει:

$$V_R \cdot B = TH_B \cdot V_{H_2O} \quad (6.5)$$

Όπου:  $V_R$ =η αναγκαία ποσότητα ρητίνης που πρέπει να έχει ο αποσκληρυντής

$V_{H_2O}$ =90m<sup>3</sup>, η ποσότητα νερού μεταξύ των αναγεννήσεων

$B$ =50grCaO/lt-R η ικανότητα ρητίνης για δέσμευση ιόντων

$TH_B$ =η ολική σκληρότητα που δεσμεύεται στον αποσκληρυντή Β

Η  $TH_B$  εκφραζόμενη σε mgrCaO/lt, ισούται με 10· $\Delta TH$ , όπου  $\Delta TH$ , η ολική σκληρότητα σε °Dh που δεσμεύεται από τον αποσκληρυντή Β (επειδή 1°dh ισοδυναμεί με 10mgrCaO/lt-διαλύματος).

Η  $\Delta TH$  βρίσκεται ως εξής:

Η παροδική σκληρότητα του νερού είναι:  $H_k=2,8 \cdot M=2,8 \cdot 6=16,8^\circ dh$

Από τον αποσκληρυντή Α δεσμεύεται το 93% της παροδικής σκληρότητας του νερού:  
 $H_A=0,93 \cdot 16,8=15,6^\circ Dh$

Η εισερχόμενη ολική σκληρότητα στον αποσκληρυντή Β είναι:

$$TH_B=TH-H_A=20-15,6=4,4^\circ Dh$$

Η ολική σκληρότητα που δεσμεύεται στον αποσκληρυντή Β, ο οποίος σύμφωνα με τα δεδομένα έχει απόδοση 97% είναι:

$$H_B = 0,97 \cdot 4,4 = 4,27 \text{ } ^\circ\text{Dh}$$

Άρα η εξ.(6.5) θα είναι:

$$V_R = \frac{TH_B \cdot V_{H_2O}}{B} = \frac{10 \cdot \Delta TH \cdot V_{H_2O}}{B} = \frac{10 \cdot 4,27^{\circ} \cdot 90m^3}{50grCaO/lt - R} = 76,9 [lt - R]$$

## 6.9 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Για την αναγέννηση του αποσκληρυντή χρησιμοποιείται πυκνό  $H_2SO_4$  με περιεκτικότητα 96% κ.β. Στο πρώτο από τα δύο στάδια, αραιώνεται σε διάλυμα 10%κ.β. εντός δεξαμενής και στο δεύτερο σε 0,7% κ.β. απ' ευθείας εντός του σωλήνα προσαγωγής με τζιφάρι.

Το μοριακό βάρος του  $H_2SO_4$  είναι  $MB=2+32+4 \cdot 16=98$ . Το σθένος των ιόντων του είναι 2. Επομένως το χημικό του ισοδύναμο είναι:  $N=MB/\sigma\theta\acute{\epsilon}n\omicron\varsigma=MB/2=49gr/val=49mgr/mval$ . Η πυκνότητά του είναι  $\rho=1,84Kgr/lt$ . Η αναγωγή του απαιτούμενου βάρους σε περιεκτικότητα 100%κ.β. γίνεται με τον συντελεστή 100/96. Η περίσσεια οξέως λαμβάνεται 10% (προσαύξηση ασφαλείας).

Από τα παραπάνω προκύπτει ο τύπος:

$$V_{H_2SO_4} = 1,1 \cdot \frac{100}{96} \cdot \frac{N \cdot \Delta M \cdot V_{H_2O}}{\rho} \quad (6.6)$$

Όπου:  $\Delta M=5,58mval/lt$ , η μεταβολή της αλκαλικότητας στον Α

αποσκληρυντή

$V_{H_2O}=90m^3$ , η ποσότητα νερού μεταξύ των αναγεννήσεων

Επομένως η εξ.(6.6) θα είναι:

$$\begin{aligned} V_{H_2SO_4} &= 1,1 \cdot \frac{100}{96} \cdot \frac{N \cdot \Delta M \cdot V_{H_2O}}{\rho} = \frac{1,1 \cdot 100 \cdot 49}{96 \cdot 1,84 \cdot 1000} \cdot \Delta M \cdot V_{H_2O} = \\ &= 0,0305 \cdot 5,58 \frac{mval}{lt} \cdot 90m^3 = 15lt \end{aligned}$$

Για την αναγέννηση του αποσκληρυντή Β απαιτείται άλας NaCl. Διαλύεται σε δεξαμενή στερεό αλάτι του εμπορίου, με συγκεκριμένη περιεκτικότητα σε περίσσεια, οπότε προκύπτει σχεδόν κορεσμένο διάλυμα πυκνότητας 22Be.

Στη συνέχεια το αλατοδιάλυμα αραιώνεται σε άλλη δεξαμενή, ή κατευθείαν στον σωλήνα προσαγωγής με τζιφάρι, μέχρι η πυκνότητα να γίνει 5 έως 10%.

Για να είναι επαρκής η αναγέννηση, πρέπει η ποσότητα του καθαρού άλατος να είναι τουλάχιστον 240gr ανά λίτρο ρητίνης, δηλαδή 240grNaCl/lit-R.

Επίσης πρέπει ο χρόνος επαφής να είναι τουλάχιστον 2 λεπτά, δηλαδή το νερό να διατρέχει το πάχος του στρώματος της ρητίνης σε χρόνο μεγαλύτερο ή ίσο των 2 λεπτών. Από αυτόν τον παράγοντα, καθώς και από την παροχή νερού, εξαρτάται η επιλογή ύψους και διαμέτρου του αποσκληρυντή.

Για να υπολογιστεί η ποσότητα του απαιτούμενου αλατοδιαλύματος, θα βρεθεί πρώτα η ποσότητα του καθαρού άλατος M, που απαιτείται για να αναγεννηθεί ποσότητα ρητίνης  $V_R=76,9\text{lt}$ .

Ισχύει:  $M_{\text{NaCl}}=240 \cdot 10^{-3} \cdot 76,9\text{lt-R}=18,47\text{kgNaCl}$

Στη συνέχεια θα αναχθεί η ποσότητα περιεχόμενου καθαρού άλατος στην ανάλογη περιεκτικότητα του αλατοδιαλύματος.

Αν θεωρηθεί ότι χρησιμοποιείται αλατοδιάλυμα με πυκνότητα 22Be, τότε η περιεκτικότητα σε καθαρό NaCl, είναι  $c=274\text{gr/NaCl/lit}$

Επομένως η ποσότητα του απαιτούμενου αλατοδιαλύματος θα είναι:

$$V_{\text{NaCl}} = \frac{1000 \cdot 18,47\text{kgNaCl}}{274} = 67,4\text{lt}$$

## ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup>

# ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

## 1. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό προϊόν που βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα της γης και είτε συναντάται μόνο του, είτε συνυπάρχει με κοιτάσματα πετρελαίου. Είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο (σε ποσοστό άνω του 85%), που είναι ο ελαφρύτερος υδρογονάνθρακας, είναι πολύ καθαρό, χωρίς προσμίξεις και θειούχα συστατικά. Αποτελεί μια φυσική μορφή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία και κάνει στις κατάλληλες συσκευές ιδανική καύση. Είναι ένα καύσιμο πολύ φιλικό προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Τα αποθέματα φυσικού αερίου που βρίσκονται σε χώρες όπως η Ρωσία, το Ιράν, το Κατάρ, το Ιράκ, η Νιγηρία και οι ΗΠΑ, επαρκούν για τουλάχιστον 100 έτη. Στη χώρα μας το φυσικό αέριο έρχεται από τη Ρωσία, σε αέρια μορφή, μέσω αγωγών, από την Αλγερία, σε υγροποιημένη μορφή, με δεξαμενόπλοια (στις εγκαταστάσεις της νήσου Ρεβιθούσας, στον κόλπο των Μεγάρων) και από το Αζερμπαϊτζάν, σε αέρια μορφή.

Σε σχέση με τον αέρα το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο, με σχετική πυκνότητα 0,55. Σε περίπτωση διαρροής, διαχέεται και διαφεύγει άμεσα προς την ατμόσφαιρα (σε αντίθεση με το υγραέριο που είναι βαρύτερο και συγκεντρώνεται χαμηλά. Είναι άοσμο, αλλά κατά την μεταφορά του προστίθεται μια ειδική ουσία, ώστε να ανιχνεύεται σε περίπτωση διαφυγής. Τα όρια ανάφλεξης του είναι 4,5%-15%, δηλαδή η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί αν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο, είναι εκτός αυτών των ορίων. Λόγω της σύστασης του κατά την καύση, έχει την μεγαλύτερη εκπομπή ρύπων από όλα τα συμβατικά καύσιμα, δεν περιέχει όμως μονοξείδιο, συνεπώς δεν είναι τοξικό.

Ως “Κανονική κατάσταση”, έχει οριστεί μια κατάσταση αναφοράς για τα αέρια, (και στην οποία ανάγονται οι όγκοι τους), η οποία αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 0°C και πίεση 1,01325 bar. Ο όγκος ενός κυβικού μέτρου αερίου σε κανονική κατάσταση, αποτελεί ένα “κανονικό κυβικό μέτρο αερίου (1Nm<sup>3</sup>)”.

Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον οικιακό τομέα σε διάφορους τομείς όπως: κεντρική θέρμανση πολυκατοικίας, αυτόνομη θέρμανση μονοκατοικίας ή διαμερίσματος, παροχή ζεστού νερού, μαγείρεμα, κλιματισμός.

Στον επαγγελματικό τομέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, μαγείρεμα και ψήσιμο, παραγωγή ζεστού νερού, παραγωγή ατμού, κλιματισμό, συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Μια σειρά επαγγελματιών όπως αρτοποιεία, εστιατόρια, εργαστήρια ζαχαροπλαστικής, κομμωτήρια, εργαστήρια αργυροχρυσοχοΐας, στεγνοκαθαριστήρια, συνεργεία αυτοκινήτων με φούρνους βαφής και πολλοί άλλοι, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο για να καλύψουν τις καθημερινές τους ανάγκες. Επίσης, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, μεγάλα κτίρια γραφείων, εμπορικά κέντρα και καταστήματα, κολυμβητήρια, αθλητικές εγκαταστάσεις, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο καλύπτοντας τις ενεργειακές τους ανάγκες με οικονομία και ασφάλεια.

Στον τομέα της βιομηχανίας, το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών όλων παραγωγικών διαδικασιών (παραγωγή ατμού, ξήρανση), για κλιματισμό καθώς και για συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Συνοψίζοντας, το φυσικό αέριο μπορεί σε διάφορους τομείς να υποκαταστήσει όλα τα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα καύσιμα και μορφές ενέργειας: στην θέρμανση χώρων καθώς και στην παραγωγή ζεστού νερού, μπορεί να υποκαταστήσει το πετρέλαιο και το ηλεκτρικό ρεύμα, στην παραγωγή ατμού το πετρέλαιο κίνησης και το μαζούτ, στο μαγείρεμα, το ηλεκτρικό ρεύμα, το υγραέριο και το πετρέλαιο κίνησης, στον κλιματισμό, το ηλεκτρικό ρεύμα και σε διάφορες χρήσεις στη βιομηχανία, το μαζούτ, το πετρέλαιο και το υγραέριο.

Τα οφέλη του φυσικού αερίου είναι η ανταγωνιστική του τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα, η ευκολία στη χρήση του, μιας και είναι διαθέσιμο από το εγκατεστημένο δίκτυο και δεν χρειάζεται να γίνει παραγγελία και παραλαβή του, η εξοικονόμηση χώρου, αφού δεν απαιτείται δεξαμενή για την αποθήκευσή του, το μειωμένο κόστος συντήρησης των συσκευών και η εξασφάλιση μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους, χάρη στην καθαρή του καύση και φυσικά η φιλικότητά του προς το περιβάλλον, αφού παράγεται ελάχιστο διοξείδιο του άνθρακα κατά την καύση του, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επίσης δεν περιέχονται ενώσεις θείου που ρυπαίνουν το περιβάλλον και προκαλούν το φαινόμενο της όξινης βροχής.

## 2. ΚΑΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

### 2.1 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ

Η σύσταση του φυσικού αερίου το οποίο χρησιμοποιείται στην χώρα μας, είναι η εξής:

-Μεθάνιο $\text{CH}_4$	98%
-Αιθάνιο $\text{C}_2\text{H}_6$	0,6%
-Προπάνιο $\text{C}_3\text{H}_8$	0,2%
-Βουτάνιο $\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,2%
-Πεντάνιο $\text{C}_5\text{H}_{12}$	0,1%
-Αζωτο $\text{N}_2$	0,1%
Σύνολο	100%

Το φυσικό αέριο με την παραπάνω σύσταση έχει θερμογόνο δύναμη  $H_u=9600\text{kcal/Nm}^3$

Για την καύση του φυσικού αερίου συνήθως χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα  $\lambda=1,05$

$$\text{όπου } \lambda = \frac{L}{L_0}$$

Ισχύει:

$$\lambda \approx \frac{0,21}{0,21 - O_2}$$

Όπου  $O_2=1\%$ , το οξυγόνο που βρίσκεται στα καυσαέρια. Αντικαθιστώντας στον παραπάνω τύπο, προκύπτει η προαναφερθείσα τιμή της περίσσειας αέρα καύσης.

Όσον αφορά το μονοξείδιο του άνθρακα που περιέχεται στα καπναέρια, επειδή είναι επικίνδυνη ουσία, πρέπει να μην υπερβαίνει το 0,2% (σύμφωνα με Γερμανικούς κανονισμούς, πρέπει να είναι κάτω από 0,1%). Αυτό επιτυγχάνεται με καλή ρύθμιση του καυστήρα και καλή ανάμειξη με τον αέρα καύσης.

Για την ποσότητα του αέρα καύσης  $L$ , με περίσσεια αέρα ισχύει:

$$L = \frac{H_u+200}{13300} \cdot \left( \frac{2,71}{0,21-O_2} + 1 \right) + 0,335 \quad (2.1)$$

Όπου:  $O_2=1\%$ , το ποσοστό Οξυγόνου στα καπναέρια

$H_u=9600\text{kcal}/\text{Nm}^3$ , η κατώτερα θερμογόνος δύναμη

Άρα:

$$L = \frac{9600+200}{13300} \cdot \left( \frac{2,71}{0,21-0,01} + 1 \right) + 0,335 = 0,737 \cdot 14,55 + 0,335 = 11,06\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Για την ποσότητα του αέρα καύσης  $L_0$ , χωρίς περίσσεια αέρα, άρα χωρίς οξυγόνο στα καπναέρια, ισχύει:

$$L_0 = \frac{H_u+200}{13300} \cdot \left( \frac{2,71}{0,21} + 1 \right) + 0,335 = 0,736 \cdot 13,9 + 0,335 = 10,56\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$$

## 2.2 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Για την πραγματική ποσότητα καπναερίων  $V_R$ , με περίσσεια αέρα ισχύει:

$$V_R = \frac{H_u+200}{6820} \cdot \left( \frac{1,39}{0,21-O_2} + 1 \right) + 0,713 \quad (2.2)$$

Αντικαθιστώντας στην εξ.(2.2):

$$V_R = \frac{9600+200}{6820} \cdot \left( \frac{1,39}{0,21-0,01} + 1 \right) + 0,713 = 12,16\text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Για την υγρασία των καπναερίων ισχύει:



$$V_w = \frac{H_u + 5060}{6820} = \frac{9600 + 5060}{6820} = 2,15 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$$

Η ποσότητα των ξηρών καπναερίων με περίσσεια αέρα,  $V_{R,tr}$ , προκύπτει αν από την πραγματική ποσότητα καπναερίων,  $V_R$ , αφαιρεθεί η υγρασία,  $V_w$ , των καπναερίων.

Επομένως:

$$V_{R,tr} = V_R - V_w = 12,16 - 2,15 = 10,01 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$$

Η ποσότητα υγρών καπναερίων,  $V_0$ , χωρίς περίσσεια αέρα είναι:

$$V_0 = \frac{H_u + 200}{6820} \cdot \left( \frac{1,39}{0,21} + 1 \right) + 0,713 \quad (2.3)$$

Αντικαθιστώντας στην εξ.(2.3):

$$V_0 = \frac{9800}{6820} \cdot \left( \frac{1,39}{0,21} + 1 \right) + 0,713 = 11,68 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$$

Η ποσότητα ξηρών καπναερίων,  $V_{tr}$ , χωρίς περίσσεια αέρα, βρίσκεται αν από την ποσότητα υγρών καπναερίων χωρίς περίσσεια αέρα  $V_0$ , αφαιρεθεί η υγρασία καπναερίων  $V_w$ , επομένως

$$V_{tr} = 11,68 - 2,15 = 9,53 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$$

Για τον λόγο  $\varphi$  ισχύει:

$$\varphi = \frac{V_{tr}}{L_0} = \frac{9,53}{10,56} = 0,9$$

## 2.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΑΤΕΛΟΥΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι απώλειες θερμότητας  $q_{CO}$  οφειλόμενες στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) που περιέχεται στα καυσαέρια (θα ληφθούν 0,2%, που είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή), βρίσκονται ως εξής:

$$q_{CO} = \left(1 + \frac{200}{H_u}\right) \cdot \frac{61,6 \cdot (CO)}{0,21 - [(O_2) - 0,395 \cdot (CO)]} \quad (2.4)$$

Αντικαθιστώντας στην εξ.(2.4):

$$q_{CO} = \left(1 + \frac{200}{9600}\right) \cdot \frac{61,6 \cdot (0,002)}{0,21 - [(0,01) - 0,395 \cdot (0,002)]} = 0,6\%$$

## 2.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΤΩΝ ΘΕΡΜΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟ

Ισχύει:

$$q_A = k \cdot (T_R - T_L) \quad (2.5)$$

$$\text{Όπου: } k = k_{180} \left(1 + 0,013 \frac{T_R - 180}{100}\right) \quad (2.6)$$

$$\text{Και } k_{180} = \left(0,03035 + \frac{6,07}{H_u}\right) \cdot \left(\frac{0,21}{0,21 - (O_2 - 0,395 \cdot CO)} + 3,778\right) - 0,1077 \quad (2.7)$$

$T_R = 232^\circ\text{C}$ , η θερμοκρασία καπναερίων

$T_L = 20^\circ\text{C}$ , η θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος

$k$  = συντελεστής απωλειών

$k_{180}$  = συντελεστής απωλειών για θερμοκρασία καπναερίων  $180^\circ\text{C}$

Επομένως θα είναι:

$$k_{180} = \left(0,03035 + \frac{6,07}{9600}\right) \cdot \left(\frac{0,21}{0,21 - (0,01 - 0,395 \cdot 0,002)} + 3,778\right) - 0,1077 = 0,04 \text{ } \% / ^\circ\text{C}$$

$$k = 0,04 \left( 1 + 0,013 \frac{232-180}{100} \right) = 0,04 \% / ^\circ C$$

$$q_A = 0,04 \cdot (232 - 20) = 0,04 \cdot 212 = 8,5\%$$

## 2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα θα βρεθεί αν ληφθούν υπόψη οι απώλειες λόγω ατελούς καύσης, οι απώλειες θερμότητας λόγω των θερμών καπναερίων και οι απώλειες αγωγιμότητας (γνωστές από τα δεδομένα).

$$\text{Επομένως } \eta = 100 - q_{CO} - q_A - q_R = 100 - 0,6 - 8,5 - 2,5 = 88,4\%$$

Σύμφωνα με τη βασική σχέση ισολογισμού-θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε και στους υπολογισμούς για το πυρηνόξυλο και δεδομένου ότι κατά την καύση του φυσικού αερίου προσδίδεται θερμότητα στην εστία, ίση με την θερμογόνο του δύναμη, ισχύει:

$$B = \frac{21760 \frac{kg}{h} \cdot 3073,4 \frac{kJ}{kg}}{0,884 \cdot 9600 \frac{kcal}{Nm^3} \cdot 4,187 \frac{kJ}{kcal}} = \frac{66877184}{35532,5} Nm^3/h = 1882 Nm^3/h$$

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μια τέτοια μονάδα, πιθανότατα θα ήταν οικονομικά βιώσιμη, σε έναν ελαιοπαραγωγικό νομό, στον οποίο είναι εγκατεστημένο δίκτυο φυσικού αερίου μιας και θα ήταν μηδενικά τα μεταφορικά έξοδα των καυσίμων προς αυτή.

Θα δημιουργούνται θέσεις εργασίας, το σημαντικότερο όμως είναι το ότι μέσω της καύσης του πυρηνοξύλου, δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον και δεν υπάρχει αρνητική επίδραση σε φαινόμενα όπως αυτό της όξινης βροχής, ή του θερμοκηπίου, μιας και δεν εκπέμπονται επιβλαβείς ρύποι κατά την καύση του. Επίσης μέσω της αξιοποίησης εγχώριων πηγών ενέργειας, μειώνεται η ενεργειακή εξάρτηση της χώρας από το εξωτερικό.

Επειδή οι συνολικά 41000 τόνοι πυρηνοξύλου που απαιτούνται ετησίως ( $4,7\text{t/h} \cdot 24\text{h} \cdot 365$  μέρες), για την αδιάκοπη λειτουργία της μονάδας, είναι αρκετά μεγάλη ποσότητα και ίσως να μην είναι διαθέσιμο ένα μέρος της, ειδικότερα τους μήνες του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, που δεν παράγεται το προϊόν, η χρήση του φυσικού αερίου, είναι μια ιδανική εναλλακτική λύση, όχι μόνο λόγω του μηδενικού κόστους μεταφοράς αυτού προς την μονάδα, αλλά επειδή είναι και αυτό ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον, αφού εκπέμπει ελάχιστους ρύπους διοξειδίου, δεν περιέχει ενώσεις θείου και χάρη στην καύση του η οποία είναι καθαρή, δεν εκπέμπεται αιθάλη και αιωρούμενα σωματίδια, οπότε περιορίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1.Κροντήρη Ηλία, Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Τόμος Β', Εκδόσεις ΙΩΝ, 1994

2.Γιαννόπουλου Ανδρέα, Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Οδηγός επίλυσης Ασκήσεων Πράξης, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2011

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

1.<https://sites.google.com/site/pyrhnoxylo/pyrenelaiourgeia-1/to-pyrenoxylo-san-kausimo>

2.<https://www.aerioattikis.gr>