

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

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ ΜΕ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥ ΑΤΜΟΥ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑΤΟΣ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΟΥΡΔΟΥΜΠΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2014**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στο τρόπο υπολογισμού διαφόρων κατασκευαστικών μερών ενός ατμολέβητα με φλογοσωλήνα. Ο ατμός μεταφέρει μεγάλη ποσότητα ενέργειας με την μορφή θερμότητας για το λόγο αυτό στις μέρες μας πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν τον ατμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για θέρμανση, για θερμό νερό καθώς επίσης για αποξήρανση προϊόντων και ύγρανση χώρων.

Αρχικά μελετάται το μέγεθος του ατμοθαλάμου καθώς και ο όγκος του παραγόμενου ατμού που είναι εξίσου σημαντικός στον υπολογισμό διαφόρων στοιχείων. Στη συνέχεια αναπτύσσονται βήμα βήμα όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί για τα κατασκευαστικά μέρη του ατμολέβητα που θα χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανία παραγωγής οινοπνεύματος.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια, για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Γουρδουμπάς Βασίλειος  
Ιούλιος 2014

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή 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 στην μελέτη Ατμολέβητα με φλογοσωλήνα για μια βιομηχανία παραγωγής οينوπνεύματος. Οι ατμολέβητες είναι ευρέως διαδεδομένοι στην χώρα μας αλλά και στο εξωτερικό για τη χρήση τους. Οι ατμολέβητες χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες για θέρμανση, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για επιτάχυνση χημικών αντιδράσεων, για αποστείρωση και για άλλες λοιπές χρήσεις.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται όλα τα δεδομένα του ατμολέβητα που μελετούμε τα οποία είναι πολύ σημαντικά για την διεκπεραίωση όλων των υπολογισμών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο υπολογίζεται η συνολική επιφάνεια ατμοποίησης, το μέγεθος του ατμοθαλάμου του λέβητα και ο όγκος του παραγόμενου ατμού. Επίσης γίνεται μελέτη της διαμέτρου του φλογοσωλήνα, όλων των απαραίτητων αποστάσεων όπου θα τοποθετηθεί ο φλογοσωλήνας στο λέβητα και της ελάχιστης στάθμης νερού που πρέπει να καλύπτει τους αεριαλούς. Τέλος υπολογίζεται ο όγκος που καταλαμβάνει ο ατμός μέσα στον λέβητα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται ο υπολογισμός της παροχής του καυσίμου του καυστήρα, μελετάται η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου, αναλύεται η στοιχειομετρική σύσταση του καυσίμου (μαζούτ 35008Redwood) που χρησιμοποιεί ο συγκεκριμένος καυστήρας. Τέλος υπολογίζεται το μήκος και η διάμετρος της φλόγας που αναπτύσσεται μέσα στον φλογοθάλαμο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται η μέγιστη επιτρεπτή πίεση του φλογοσωλήνα που δύναται να δεχθεί μέσα στον λέβητα. Ακόμα γίνεται υπολογισμός του πάχους ελάσματος του κυλινδρικού τοιχώματος του λέβητα, του πάχους των επίπεδων πυθμένων του λέβητα και τέλος υπολογισμός του πάχους των επίπεδων τοιχωμάτων του φλογοσωλήνα, δηλαδή των αναστροφών καυσαερίων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο υπολογισμός της πραγματικής παροχής των καπναερίων για τις τρεις διαδρομές που ακολουθούν τα καπναέρια μέχρι την έξοδό τους από την καπνοδόχο, ο υπολογισμός του αριθμού των αεριαλών σε κάθε διαδρομή ξεχωριστά και τέλος πραγματοποιείται έλεγχος του πάχους των αεριαλών που έχει επιλεχθεί.

Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρεται στον υπολογισμό της διαμέτρου του σωλήνα πλήρωσης του τροφοδοτικού νερού, στον υπολογισμό της διαμέτρου του σωλήνα του ατμού καθώς και στη μελέτη της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε για την κυκλοφορία του νερού. Επίσης αναφέρεται στον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους ραφής συγκόλλησης των στομιών σύνδεσης του σωλήνα του νερού τροφοδοσίας και του σωλήνα του ατμού, στο επάνω μέρος του λέβητα.

Τέλος όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ατμολέβητα παρουσιάζονται με κλίμακα σε μηχανολογικό σχέδιο για την καλύτερη κατανόηση όλων των υπολογισμών. Με βάση τους υπολογισμούς ο ατμολέβητας αυτός είναι ικανός να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της οινοποιητικής μονάδας καθ'όλη τη διάρκεια λειτουργίας της με αρκετά υψηλή απόδοση.

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Ιστορική αναδρομή των ατμοπαραγωγών .....	1
2. Ιστορική εξέλιξη ατμοπαραγωγών .....	2
3. Ο ατμολέβητας .....	4

### 1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

1.1 Δεδομένα Υπολογισμών .....	8
1.2 Πίεση λειτουργίας ατμολέβητα .....	8
1.3 Παραγωγή κορεσμένου ατμού .....	9
1.4 Βαθμός απόδοσης ατμολέβητα .....	9
1.5 Ειδική φόρτιση .....	9
1.6 Θερμοκρασία νερού τροφοδοτήσεως .....	10
1.7 Αγωγιμότητα νερού .....	10
1.8 Κατασκευαστικά στοιχεία ατμολέβητα .....	11
1.9 Στοιχειομετρία καυσίμου .....	14

### 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ

2.1 Συνολική επιφάνεια ατμοποίησης .....	16
2.2 Έλεγχος διαμέτρου του τυμπάνου του ατμολέβητα .....	17
2.3 Μέγεθος ατμοθαλάμου .....	17
2.4 Όγκος παραγόμενου ατμού .....	17
2.5 Έλεγχος διαμέτρου φλογοσωλήνα .....	20
2.6 Αποστάσεις κέντρων μεταξύ τυμπάνου και φλογοσωλήνα .....	21
2.7 Υπολογισμός ελάχιστης στάθμης νερού από το φλογοσωλήνα .....	22

2.8 Κυκλικός τομέας .....	24
2.9 Επαλήθευση όγκου $V_D$ .....	27
<b>3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΦΛΟΓΑΣ</b>	
3.1 Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου .....	28
3.2 Ωριαία κατανάλωση καυσίμου .....	29
3.3 Ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσης .....	31
3.4 Ποσότητα ξηρών καπναερίων .....	32
3.5 Ποσότητα υγρών καπναερίων .....	32
3.6 Μέγιστη περιεκτικότητα των καπναερίων σε $CO_2$ .....	33
3.7 Περίσσεια αέρα καύσης .....	33
3.8 Ποσότητα πραγματικών ξηρών καπναερίων .....	34
3.9 Ποσότητα πραγματικών υγρών καπναερίων .....	34
3.10 Μήκος φλόγας .....	34
3.11 Διάμετρος φλόγας .....	37
<b>4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ</b>	
4.1 Μέγιστη επιτρεπτή πίεση (για κυματοειδής φλογοσωλήνες) .....	39
4.2 Πάχος κυλινδρικού τοιχώματος ατμολέβητα .....	45
4.3 Πάχος επίπεδων πυθμένων ατμολέβητα .....	48
4.4 Πάχος επίπεδων τοιχωμάτων φλογοσωλήνα .....	51
<b>5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΕΡΙΑΥΛΩΝ</b>	
5.1 Πραγματική παροχή καπναερίων .....	58
5.2 Αριθμός αεριαυλών .....	62
5.3 Έλεγχος πάχους των σωλήνων των αεριαυλών .....	65
<b>6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΣΩΛΗΝΑ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΡΑΦΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΤΟΜΙΩΝ</b>	
6.1 Υπολογισμός της διαμέτρου του σωλήνα πλήρωσης του τροφοδοτικού νερού .....	70
6.2 Υπολογισμός της διαμέτρου του σωλήνα του ατμού .....	71
6.3 Ισχύς αντλίας νερού .....	73
6.4 Πάχος ραφής συγκολλήσεως στομίων .....	75

<b>ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ ΤΗΣ ΟΙΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ .....</b>	<b>79</b>
---	-----------

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>82</b>
---------------------------	-----------



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

Από την εμφάνιση του πάνω στη γη, ο άνθρωπος αντιλήφθη αρκετά νωρίς ότι η βελτίωση του βιοτικού του επιπέδου είναι δυνατή μόνο με την απόκτηση αγαθών. Για το λόγο αυτό ήταν απαραίτητο να δαπανήσει έργο, τόσο περισσότερο, όσο περισσότερα αγαθά ήθελε να αποκτήσει. Η παραγωγή έργου με ανθρώπινες δυνάμεις ήταν περιορισμένη, έτσι αναγκάστηκε να αναζητήσει νέες πηγές ενέργειας στο περιβάλλον του.

Πρώτη πηγή την οποία χρησιμοποίησε, ήταν η ενέργεια των ζώων. Κατάφερε και εξημέρωσε διάφορα είδη ζώων και τα καθοδήγησε για την παραγωγή ωφέλιμου έργου για αυτόν. Καθώς βέβαια αναπτυσσόταν ο πολιτισμός, τόσο μεγάλωνε η ανάγκη έργου και οι ζωικοί δεν ήταν αρκετά επαρκείς. Ο βαθμός απόδοσης των ζώων ήταν μικρός. Το περιβάλλον του πρόσφερε την ενέργεια των υδάτων και την ενέργεια των ανέμων. Έτσι ο άνθρωπος οδηγήθηκε στην κατασκευή κινητήριων μηχανών οι οποίες εκμεταλλεύτηκαν αυτές τις δύο μορφές ενέργειας.

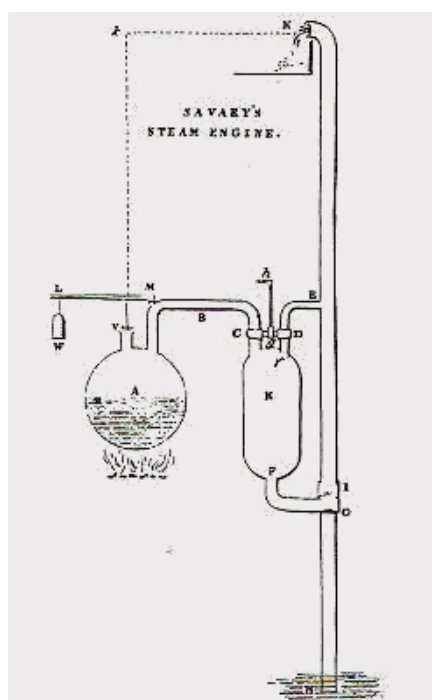
Κατασκεύασε συγχρόνως και εργομηχανές για την κάλυψη των αναγκών του και για την παραγωγή προϊόντων. Συγχρόνως ανακάλυψε στο περιβάλλον τα καύσιμα, τα οποία απέδιδαν μεγάλες ποσότητες χημικής ενέργειας. Με την καύση αυτών, παραγόταν ενέργεια σε μορφή θερμότητας, την θερμότητα των καπναερίων ή και την θερμική ακτινοβολία. Έτσι έμαθε να την μετατρέπει σε άλλες μορφές ενέργειας, σε θερμική αρχικά, σε ενέργεια που παραγόταν από τον ατμό καθώς και σε ηλεκτρική ενέργεια την οποία μπορούσε εύκολα να τη μεταφέρει σε μεγάλες αποστάσεις και την οποία μπορούσε να μετατρέψει σε έργο με αρκετά ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης.

Στη συνέχεια το μεγάλο άλμα έγινε με την βιομηχανική επανάσταση, που προέκυψε από την επινόηση της ατμομηχανής. Έτσι η

πρόοδος ήταν αλματώδης με τις μηχανές εσωτερικής καύσης να καταλαμβάνουν έδαφος. Αρχικά η ατμομηχανή και στη συνέχεια η δυνατότητα κατασκευής μηχανής ισχύος (ατμοστροβίλου) διευκόλυνε τον άνθρωπο στην παραγωγή έργου. Τέλος η ανακάλυψη των πυρηνικών καυσίμων απεδείχθη αρκετά αποδοτική για την παραγωγή ατμού.

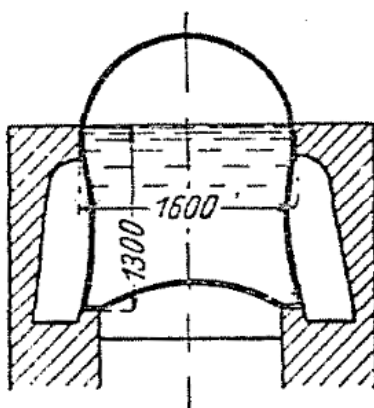
## 2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

Το 1699 ο Savery κατασκεύασε ατμομηχανή η οποία χρησιμοποιούταν για άντληση υδάτων κυρίως. Η μηχανή αυτή ήταν μία μηχανή αντλήσεως και βασιζόταν στην ιδιότητα του ατμού να συμπυκνώνεται σε νερό, έτσι δημιουργούνταν κενό, το οποίο αναρροφά το νερό της δεξαμενής. Η παραγωγή του ατμού γινόταν σε χάλκινο ατμολέβητα υπό ατμοσφαιρική πίεση. Τέτοιου είδους συστήματα αντλήσεως χρησιμοποιήθηκαν μέχρι το 1770. (Σχήμα 1)



**Σχήμα 1:** Διάταξη ατμομηχανής Savery. (Jones R.V. "The plain Story of James Watt: The Wilkins Lecture 1969")

Το 1773 ο James Watt ένα από τα πλέον εφευρετικά πνεύματα όλων των εποχών ανακάλυψε την ατμομηχανή υπό την μορφή την οποία γνωρίζουμε σήμερα. Ο James watt κατάφερε και διαχώρισε την αποτόνωση από τη συμπύκνωση και μετέτρεψε την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική, όπως σήμερα λειτουργούν οι παλινδρομικές μηχανές. Στη συνέχεια δοκίμασε την αύξηση των πιέσεων και έφθασε μέχρι 0,5 atü. Το παραγόμενο έργο χρησιμοποιήθηκε για την ανύψωση νερού, μέσω του οποίου έπαιρνε κίνηση υδραυλικός τροχός. (Σχήμα 2)



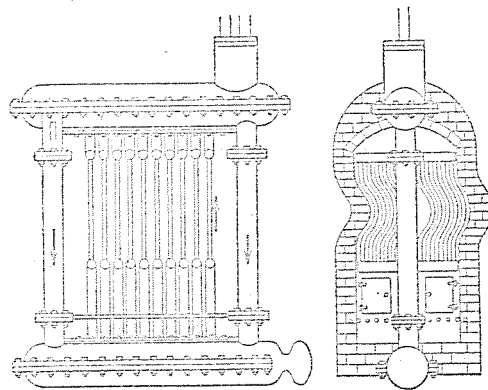
**Σχήμα 2:** Καλαθοειδής λέβητας του J.Watt κατασκευής του 1790. (Κων. Χ. Λέφας, *Θεωρία Τεχνική και Οικονομία της θερμότητας*)

Έπειτα από μερικά χρόνια το Blakey σκέφτηκε να χρησιμοποιήσει υδραυλούς και κατασκεύασε το πρώτο υδραυλωτό λέβητα το 1766, ωστόσο πέρασαν αρκετά χρόνια για την περαιτέρω εξέλιξη της κατασκευής. (Σχήμα 3)



**Σχήμα 3:** Υδραυλωτός λέβητας του Blakey κατασκευής 1766. (Κων. Χ. Λέφας, *Θεωρία Τεχνική και Οικονομία της θερμότητας*)

Το 1825 ο Joseph Eve κατασκεύασε τον πρώτο υδραυλωτό λέβητα με κυκλοφορία του νερού σε αυλούς μεγαλύτερης διαμέτρου, μη θερμαινόμενους (αυλούς επιστροφής). Η κατασκευή αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπως επίσης διακρίνεται και η ενσωμάτωση του τυμπάνου στον λέβητα. (Σχήμα 4)

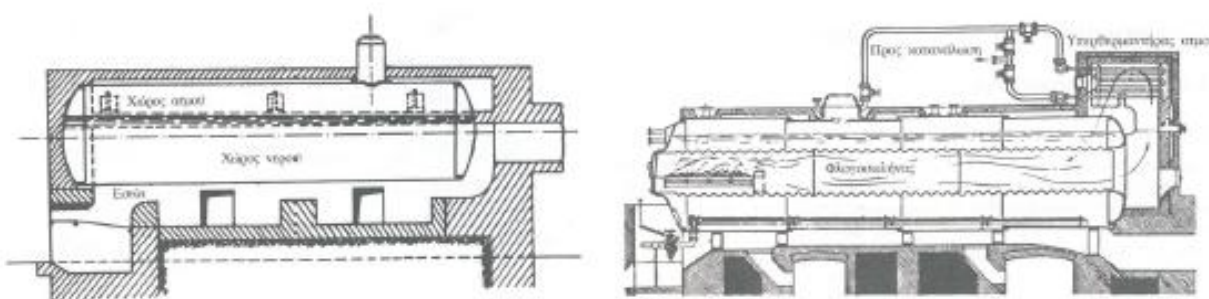


**Σχήμα 4:** Υδραυλωτός λέβητας του Eve κατασκευής 1825. (Κων. Χ. Λέφας, *Θεωρία Τεχνική και Οικονομία της θερμότητας*)

### 3. Ο ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑΣ (STEAM BOILER)

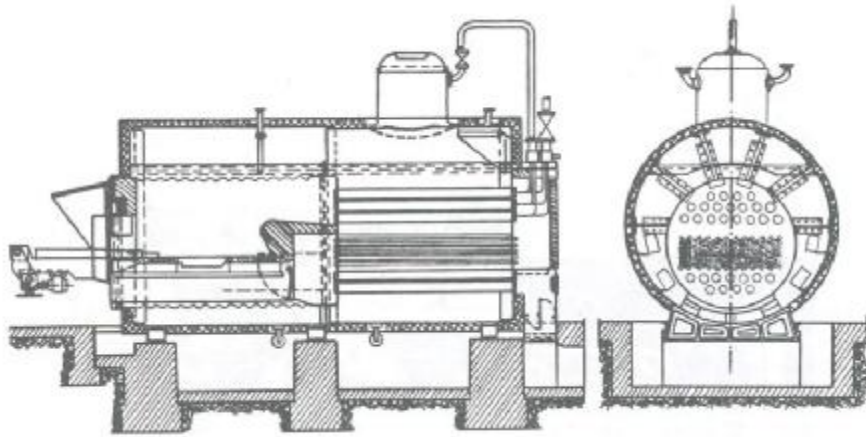
Ο ατμολέβητας-ατμοπαραγωγός (steam boiler) ορίζεται ως μια κλειστή μεταλλική συσκευή (δοχείο) εντός του οποίου το εργαζόμενο μέσο (νερό, υγρό) μετατρέπεται σε ατμός. Στις πρώτες κατασκευές ατμοπαραγωγών, το εργαζόμενο μέσο (νερό/ατμός) βρισκόταν στο

εσωτερικό ενός μεγάλου κυλινδρικού δοχείου (τυμπάνου), ενώ το καυσαέριο κυκλοφορούσε στο εξωτερικό του δοχείου και μέρος της εξωτερικής επιφάνειας αποτελούσε την θερμαινόμενη επιφάνεια του ατμοπαραγωγού. Ωστόσο, επειδή αυτές οι κατασκευές είχαν ελάχιστη θερμαινόμενη επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο τους, είχαν μικρό βαθμό απόδοσης, λόγω της μικρής θερμικής εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας και έδιναν μικρές παροχές ατμού, ενώ ταυτόχρονα ήταν δαπανηρές. Ακόμα ο ατμός ήταν μικρής πίεσης και θερμοκρασίας, λόγω των περιορισμών από την ίδια την κατασκευή. (Σχήμα 5)



**Σχήμα 5:** Διάταξη απλού κυλινδρικού ατμοπαραγωγού (αριστερά) και διάταξη ατμοπαραγωγού με ένα φλογοσωλήνα (δεξιά). (Παπαγεωργίου Ν., ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ I)

Στη συνέχεια οι επόμενες προσπάθειες κατασκευής ήταν ο ατμοπαραγωγός με φλογοσωλήνα, όπου στο εσωτερικό του τυμπάνου βρίσκεται σωλήνας μέσα στον οποίο γίνεται η καύση και αποτελεί την πρώτη διαδρομή του καυσαερίου, ο ατμοπαραγωγός με φλογοσωλήνα και αεριαλούς, παρόμοιος με τον προηγούμενο αλλά στους αεριαλούς το καυσαέριο ρέει σε δεύτερη ή και τρίτη διαδρομή, ενώ υπήρξαν και παραλλαγές των παραπάνω τύπων, π.χ. ατμοπαραγωγός μόνο με αεριαλούς. (Σχήμα 6)



**Σχημα 6:** Διάταξη Ατμοπαραγωγού με αεριαυλούς. (Παπαγεωργίου Ν., ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ Ι)

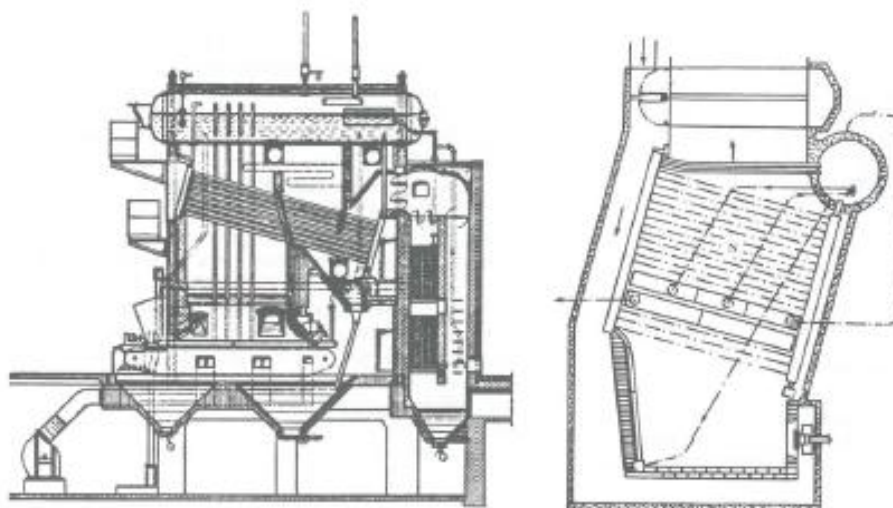
Όλοι οι ατμοπαραγωγοί που περιγράφηκαν παραπάνω χαρακτηρίζονται από μεγάλο υδροθάλαμο, που ένα μέρος της εξωτερικής του επιφάνειας αποτελεί επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας μεταξύ καυσαερίου και νερού. Η εγκατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από μικρή θερμαινόμενη επιφάνεια, ανά μονάδα όγκου της εγκατάστασης. Εξαιτίας αυτού οι ατμοπαραγωγοί αυτοί είναι ακατάλληλοι για υψηλές τιμές ατμοπαραγωγής γιατί συνεπάγονται τεράστιες κατασκευές μεγάλου κόστους. Πέρα από αυτό και η πίεση του παραγόμενου ατμού είναι πολύ μικρή, καθώς μεγάλη πίεση συνεπάγεται μεγάλα πάχη ελάσματος τυμπάνου και φλογοσωλήνα που σημαίνει ογκώδη και δαπανηρή κατασκευή. Επίσης ο τρόπος συγκρότησής τους κάνει τον ατμοπαραγωγό ακατάλληλο για θερμικές φορτίσεις και καταπονήσεις.

Γι' αυτούς τους λόγους όλοι οι ατμοπαραγωγοί αυτοί αντικαταστάθηκαν, τουλάχιστον στις μεγάλες μονάδες, με κατασκευές βασισμένες σε τελείως διαφορετικές αρχές. Στους νέους ατμοπαραγωγούς, ολόκληρη η επιφάνεια συναλλαγής αποτελείται από πλήθος σωλήνων μικρής διαμέτρου, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ατμοποιούμενο νερό ή ο υπερθερμαινόμενος ατμός, ενώ στο εξωτερικό κυκλοφορεί το καυσαέριο και γι' αυτό τον λόγο ονομάστηκαν υδραυλωτοί. Πλεονεκτούν έναντι των παλαιών ως προς:

- Μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου περιεχόμενου νερού, με συνέπεια, μεγάλη συνεχής παροχή ατμού για μικρό σχετικά όγκο της εγκατάστασης.
- Επίτευξη μικρών χρόνων ατμοποίησης.
- Δυνατότητα παραγωγής ατμού μεγάλης πίεσης με σχετικά μικρά απαιτούμενα πάχη σωλήνων, λόγω της μικρής διαμέτρου.

- Ελαστικότητα κατασκευής και δυνατότητα μεγάλων θερμικών φορτίσεων.
- Βελτίωση βαθμού απόδοσης ατμοπαραγωγού, λόγω πληρέστερης εκμετάλλευσης της θερμότητας του καυσαερίου, αλλά και καλύτερης λειτουργίας όλου του θερμοδυναμικού κύκλου λόγω αυξημένων πιέσεων και θερμοκρασιών.
- Μικρό κόστος κατασκευής επειδή το υλικό κατασκευής είναι φθηνό αλλά και το κόστος συγκρότησης είναι σχετικά μικρό.

Οι υδραυλωτοί ατμοπαραγωγοί συνεχίζουν να έχουν τύμπανο αλλά αυτό έπαψε να είναι μέρος της θερμαινόμενης επιφάνειας και ο ρόλος του περιορίστηκε στην αποθήκευση του νερού και στον διαχωρισμού του νερού από τον ατμό. (Σχήμα 7)



**Σχήμα 7:** Υδραυλωτός ατμοπαραγωγός με στοιχεία και υδροθάλαμο τοποθετημένο κατά μήκος(αριστερά) και υδραυλωτός ατμοπαραγωγός με στοιχεία και εγκάρσιο υδροθάλαμο (δεξιά). (Παπαγεωργίου Ν., ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ Ι)

# **1.ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ**

## **1.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ**

Για τον υπολογισμό όλων των παραπάνω απαιτούνται κάποια βασικά δεδομένα στοιχεία τα οποία αναλύονται παρακάτω. Πολύ σημαντικά στοιχεία είναι η πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα, η παραγωγή του κορεσμένου ατμού, ο βαθμός απόδοσης του ατμολέβητα, η ειδική φόρτιση καθώς και η θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού. Επίσης τα υλικά που επιλέχθηκαν για τον ατμολέβητα και τον φλογοσωλήνα παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της αντοχής της κατασκευής.

## **1.2 ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ**

Η επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα βάσει προδιαγραφών πρέπει να είναι:

$$P=10 \text{ atü (σχετική πίεση)}$$

Εάν με bar συμβολίσουμε την απόλυτη τιμή της πίεσης, τότε έχουμε:

$$P=10+1=11 \text{ bar}$$



### 1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥ ΑΤΜΟΥ

Για κάθε πίεση υπό την οποία συντελείται ατμοπαραγωγή αντιστοιχεί μία και μόνη ορισμένη θερμοκρασία βρασμού. Η ατμοπαραγωγή που απαιτείται για την οινοποιητική μονάδα είναι:

$$D=8 \text{ t/h ή } D=8000 \text{ kg/h}$$

### 1.4 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό από το καύσιμο που καταναλώνεται στο λέβητα, το οποίο αξιοποιείται για την παραγωγή ατμού. Ένα μέρος της ενέργειας κατά την καύση μένει ανεκμετάλλευτο: α) λόγω απαγωγής των θερμών καυσαερίων στο περιβάλλον, β) λόγω ατελούς καύσης, γ) λόγω θέρμανσης κάποιας ποσότητας αέρα και δ) λόγω απωλειών από τα τοιχώματα του λέβητα. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα επηρεάζεται από όλα τα χαρακτηριστικά της καύσης και αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό δείκτη για την πιστοποίηση της καλής λειτουργίας του καυστήρα. Στην προκειμένη περίπτωση ο βαθμός απόδοσης του λέβητα είναι εκφρασμένος σε ποσοστό επί τοις εκατό και βάσει προδιαγραφών είναι:

$$\eta \approx 88\%$$

### 1.5 ΕΙΔΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Η ειδική φόρτιση ορίζεται ως ο λόγος της παραγωγής του ατμού προς το σύνολο των επιφανειών του ατμολέβητα που συμμετέχουν στην ατμοποίηση. Στην περίπτωση μας βάσει προδιαγραφών η ειδική φόρτιση δίδεται:

$$q_D=50 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

## 1.6 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΕΩΣ

Το νερό τροφοδοτήσεως πρέπει να εισέρχεται στον ατμολέβητα με υψηλή θερμοκρασία για να πραγματοποιείται γρηγορότερα η ατμοπαραγωγή. Το νερό τροφοδοτήσεως πριν εισέλθει στον ατμολέβητα προθερμαίνεται και κατόπιν τροφοδοτείται στον λέβητα μέσω της αντλίας, στην προκειμένη περίπτωση σε θερμοκρασία:

$$T_w=102 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 1.7 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Η αγωγιμότητα εκφράζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, την κινητικότητά τους, τη συγκέντρωσή τους, τη θερμοκρασία και το ιξώδες του διαλύματος, καθώς και το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, με την οποία γίνεται η μέτρηση. Σε ένα υδατικό διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο υγρό. Έτσι λοιπόν, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Για την επίτευξη των υπολογισμών μας το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε για την ατμοπαραγωγή θα θεωρήσουμε ότι έχει αγωγιμότητα ίση με:

$$L=10000 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

Η πιο κοινή μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το Siemens/cm (S/cm), με υποδιαίρεσεις: το microSiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ) ίσο με  $10^{-6}$  S/cm και το milliSiemens/cm (mS/cm) ίσο με  $10^{-3}$  S/cm.

## 1.8 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

### Ατμολέβητας

Η εξωτερική διάμετρος του κυλινδρικού τοιχώματος του λέβητα από την πράξη έχει υπολογισθεί και δίδεται ως:

$$D_{εξ}=2400 \text{ mm}$$

Το μήκος του τυμπάνου του ατμολέβητα όπου πραγματοποιείται η ατμοπαραγωγή από την πράξη είναι υπολογισμένο και ίσο με:

$$L_{λεβ}=5230\text{mm}$$

Το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένος ο λέβητας είναι ειδικός χάλυβας ΗΠ. Το υλικό ΗΠ χρησιμοποιείται για την κατασκευή ελασμάτων λεβήτων, έχοντας αρκετά μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και πολύ καλή συγκολλησιμότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακες, η χημική σύνθεση του χάλυβα και οι μηχανικές του ιδιότητες.

**Πίνακας 1.1:** Χημική σύνθεση χάλυβα DIN 17155 ΗΠ (Πίνακας από διαδίκτυο)

Υλικό/ περιεκτικ ότητα	C. %	Mn. %	S.	N	C u	Nb	Ti.	Si.	P.	AL	Cr .	M o.	Ni	Vi
ΗΠ	0.2 0	0.80 -	0.0 15	0.0 12	0. 30	0.0 20	0. 03	0. 40	0.0 25	0.0 20	0. 30	0.0 8	0. 30	0. 02

**Πίνακας 1.2:** Μηχανικές Ιδιότητες χάλυβα DIN 17155 HII (Πίνακας από διαδίκτυο)

Υλικό	Τύπος	Πάχος (mm)	Όριο θραύσης Mpa (min)	Αντοχή σε εφελυσμό (Mpa)	Επιμήκυνση % (min)
		[16 16Ξ	265	410-530	22
		Για[40 40Ξ	255	410-530	22
HII	Κανονικός	Για[60 60Ξ	245	410-530	22
		Για[100	215	410-530	22
		Για [150	200	400-530	22
		Για[250	185	390-530	22

### Φλογοσωλήνας

Ο φλογοσωλήνας της κατασκευής μας είναι κυματοειδής μορφής για να έχουμε καλύτερη επαφή των τοιχωμάτων του φλογοσωλήνα με το εργαζόμενο μέσο (νερό) και συνεπώς γρηγορότερη μετάδοση θερμότητας στο νερό. Το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένος ο φλογοσωλήνας είναι 17 Mn 4, όπου χρησιμοποιείται κυρίως σε λέβητες, σε δοχεία υψηλής πίεσης καθώς και σε σωλήνες μεταφοράς θερμών υγρών. Επίσης το υλικό DIN 17155 17 Mn 4 χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή (κατώτερο όριο θραύσης 220-295 MPa) και από πολύ καλή συγκολλησιμότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακες, η χημική σύνθεση του χάλυβα καθώς και οι μηχανικές του ιδιότητες.

**Πίνακας 1.3:** Χημική σύνθεση χάλυβα DIN 17155 17 Mn 4 (Πίνακας από διαδίκτυο)

Υλικό/ περιεκτικ ότητα	C. %	Mn. %	S.	N	C u	Nb	Ti .	Si.	P.	AL	Cr .	M o.	Ni	Vi
	0.0 8- 0.2	0.90 - 1.50	0.0 15	0.0 12	0. 30	0.0 20	0. 03	0. 40	0.0 25	0.0 20	0. 30	0. 08	0. 30	0. 02

**Πίνακας 1.4:** Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα DIN 17155 17 Mn 4 (Πίνακας από διαδίκτυο)

Υλικό	Τύπος	Πάχος (mm)	Όριο	Αντοχή	Επιμήκυνση
-------	-------	------------	------	--------	------------

			θραύσης Mpa (min)	σε εφελυσμό (Mpa)	% (min)
		Για [16 και 16>	295	460-580	21
		για 40> και [60	290	460-581	21
17 Mn4	Κανονικός	Για60> και [100	285	460-582	21
		Για 100> και [150	260	460-583	21
		Για 100> και [150	235	440-570	21
		Για 150> και [250	220	430-570	21

Παράλληλα από την πράξη γνωρίζουμε ότι η απαιτούμενη εξωτερική διάμετρος του φλογοσωλήνα είναι ίση με:

$$d_{εξ,φλ}=1080\text{mm}$$

Το πάχος του τοιχώματος του φλογοσωλήνα από την πράξη δίδεται ίσο με:

$$s_{φλ}=17\text{mm}$$

Επίσης το μήκος του φλογοσωλήνα βάσει κανονισμών δίδεται ίσο με:

$$L_{φλ}=5230\text{mm}$$

### Αεριαυλοί

Οι αεριαυλοί που θα χρησιμοποιηθούν είναι σωλήνες άνευ ραφής και το υλικό τους είναι St 35.8 (Σχήμα 8). Οι σωλήνες από χάλυβα St 35.8 (άνευ ραφής) χρησιμοποιούνται σε ατμολέβητες, σε δεξαμενές υψηλής πίεσης καθώς επίσης και σε εγκαταστάσεις που απαιτείται μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.



**Σχήμα 8:** Σωλήνες άνευ ραφής από χάλυβα St 35.8. (Εικόνα διαδικτύου)

Παρακάτω αναλύονται οι χημική σύνθεση του υλικού St35.8 και οι μηχανικές του ιδιότητες.

**Πίνακας 1.5:** Χημική σύνθεση χάλυβα St 35.8 (Πίνακας από διαδικτύο)

Υλικό/περιεκτικότητα	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
St 35.8	0.17 Ma x	0.10~0.3 5	0.40~0.8 0	0.04 0 Max	0.04 0 Max	-	-	-

**Πίνακας 1.6:** Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα St 35.8 (Πίνακας από διαδικτύο)

Υλικό	Πάχος (mm)	Όριο θραύσης Mpa (min)	Αντοχή σε εφελυσμό (Mpa)
St35.8	Για <16	235	360~480
	Για 16> και <40	225	360~480

## 1.9 ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ο καυστήρας της εγκατάστασης καίει βαρύ πετρέλαιο του τύπου μαζούτ 35008Redwood το οποίο προθερμαίνεται για να έχει καλύτερη ρευστότητα και πιο γρήγορη καύση. Μέσου του ειδικού αναλυτή καπναερίων όπου είναι τοποθετημένος επάνω στον αγωγό των

καπναερίων, γνωρίζουμε ότι το ποσοστό του παραγόμενου κατά την καύση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι ίσο με:

$$k=13\% \text{ CO}_2$$

Αντίστοιχα γνωρίζουμε το ποσοστό του παραγόμενου μονοξειδίου του άνθρακα (CO) κατά την έξοδο των καπναερίων είναι ίσο με:

$$p=1,5\% \text{ CO}$$

Η στοιχειομετρική σύσταση του καυσίμου που θα χρησιμοποιήσουμε είναι για πετρέλαιο παραγόμενο σε Ελληνικό διυλιστήριο και πληροί όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές για την σωστή λειτουργία του ατμολέβητα, επομένως έχουμε:

**Πίνακας 1.6:** Στοιχειομετρική σύσταση καυσίμου

Άνθρακας :	<i>c</i>	=	82,82%
Υδρογόνο :	<i>h</i>	=	10,83%
Οξυγόνο :	<i>o</i>	=	0,37%
Άζωτο :	<i>n</i>	=	0,18%
Θείο :	<i>s</i>	=	3,90%
Τέφρα :	<i>A</i>	=	0,92%
Υγρασία :	<i>w</i>	=	0,98%
Σύνολο		=	100%

## 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ

### 2.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της συνολικής επιφάνειας ατμοποίησης μέσα στον ατμολέβητα πρέπει να είναι γνωστά η ατμοπαραγωγή και η ειδική ατμοποίηση. Η συνολική επιφάνεια ατμοποίησης  $F_D$  αποτελείται από όλες τις επιφάνειες του φλογοθαλάμου που συντελούν στην παραγωγή ατμού.

Γνωρίζοντας από την πράξη ότι η ατμοπαραγωγή είναι :

$$D=8000 \text{ kg/h}$$

και η ειδική φόρτιση (ατμοποίηση) είναι:

$$q_D=50 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

υπολογίζουμε την συνολική επιφάνεια ατμοποίησης ως εξής:

$$q = \frac{D}{F_D} \tag{1}$$

όπου  $q = q_D$

Επομένως η συνολική επιφάνεια ατμοποίησης είναι:

$$q_D = \frac{D}{F_D} \Leftrightarrow F_D = \frac{D}{q_D} = \frac{8000^{\text{kg/h}}}{50^{\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}}} = 160 \text{m}^2$$



## 2.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΤΟΥ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

Ο έλεγχος της εξωτερικής διαμέτρου του ατμολέβητα (κατά τον Λέφα) πραγματοποιείται γνωρίζοντας την συνολική επιφάνεια ατμοποίησης  $F_D$  δηλαδή:

$$D_{εξ} = 0,26\sqrt{F_D} = 0,26\sqrt{160m^2} = 3,29m \quad (2)$$

Ωστόσο από την πράξη γνωρίζουμε ότι είναι ίση με:

$$D_{εξ} = 2400 \text{ mm}$$

## 2.3 ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΤΜΟΘΑΛΑΜΟΥ

Το μέγεθος του ατμοθαλάμου υπολογίζεται (κατά Dubbel) βάση του τύπου αυτού:

$$\Delta_{\max} = P^{-0,7} \cdot L^{-0,61} \cdot 0,264 \cdot 10^3 \quad (3)$$

όπου  $P$  η απόλυτη πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα σε bar και  $L$  η αγωγιμότητα του νερού στον ατμοπαραγωγό σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , οπότε όλα τα μεγέθη είναι γνωστά και αντικαθιστώντας βρίσκουμε:

$$\Delta_{\max} = 11^{-0,7\text{bar}} \cdot 10000^{-0,61\text{mS/cm}} \cdot 0,264 \cdot 10^3 = 0,179 \frac{m^3/s}{m^3}$$

$$\text{ή } \Delta_{\max} = 0,179 \text{ s}^{-1}$$

## 2.4 ΟΓΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΤΜΟΥ

Ο όγκος του παραγόμενου ατμού υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο έχοντας γνωστά τον ειδικό όγκο του κορεσμένου ατμού και την

ατμοπαραγωγή. Ο ειδικός όγκος του παραγόμενου ατμού για απόλυτη πίεση  $P=11\text{bar}$  βρίσκεται από τον Πίνακα με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου.

**Πίνακας 2.1:** Θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού και ατμού σε κατάσταση κορεσμού (Γιαννόπουλος Χρ. Ανδρέας, «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί»)

Θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού και ατμού σε κατάσταση κορεσμού  
(Πίνακας Πίεσεως)

Απόλυτη Πίεση $P$	Θερμοκρασία $T$	Ειδικός Όγκος		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης $r = h'' - h'$	Εντροπία	
		Νερό $v'$	Ατμός $v''$	Νερό $h'$	Ατμός $h''$		Νερό $s'$	Ατμός $s''$
bar	°C	m <sup>3</sup> /Kg	m <sup>3</sup> /Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg <sup>°K</sup>	KJ/Kg <sup>°K</sup>
3,1	134,647	0,00107430	0,587436	566,255	2726,40	2160,14	1,6835	6,9806
3,2	135,740	0,00107540	0,570196	570,935	2727,86	2156,92	1,6950	6,9700
3,3	136,806	0,00107648	0,553966	575,500	2729,27	2153,77	1,7061	6,9597
3,4	137,845	0,00107754	0,538658	579,957	2730,64	2150,68	1,7169	6,9498
3,5	138,861	0,00107858	0,524196	584,311	2731,97	2147,65	1,7275	6,9401
3,6	139,853	0,00107961	0,510510	588,569	2733,25	2144,68	1,7378	6,9307
3,7	140,823	0,00108062	0,497539	592,735	2734,51	2141,77	1,7478	6,9215
3,8	141,773	0,00108161	0,485228	596,813	2735,72	2138,91	1,7576	6,9126
3,9	142,702	0,00108259	0,473527	600,808	2736,91	2136,10	1,7672	6,9039
4,0	143,613	0,00108356	0,462392	604,723	2738,06	2133,33	1,7766	6,8954
4,1	144,505	0,00108451	0,451781	608,563	2739,18	2130,62	1,7858	6,8872
4,2	145,380	0,00108545	0,441658	612,330	2740,27	2127,94	1,7948	6,8791
4,3	146,238	0,00108638	0,431990	616,027	2741,33	2125,31	1,8036	6,8712
4,4	147,081	0,00108729	0,422747	619,657	2742,37	2122,72	1,8122	6,8635
4,5	147,908	0,00108820	0,413900	623,224	2743,39	2120,16	1,8206	6,8560
4,6	148,721	0,00108909	0,405425	626,730	2744,38	2117,65	1,8289	6,8486
4,7	149,519	0,00108997	0,397299	630,177	2745,34	2115,16	1,8371	6,8414
4,8	150,305	0,00109084	0,389499	633,567	2746,28	2112,72	1,8450	6,8343
4,9	151,077	0,00109170	0,382007	636,902	2747,21	2110,30	1,8529	6,8274
5,0	151,836	0,00109256	0,374804	640,185	2748,11	2107,92	1,8606	6,8206
5,5	155,462	0,00109668	0,342592	655,877	2752,33	2096,45	1,8972	6,7885
6,0	158,832	0,00110061	0,315575	670,501	2756,14	2085,64	1,9311	6,7592
6,5	161,986	0,00110436	0,292581	684,216	2759,60	2075,38	1,9626	6,7321
7,0	164,953	0,00110797	0,272764	697,143	2762,75	2065,61	1,9921	6,7070
7,5	167,755	0,00111144	0,255503	709,384	2765,64	2056,26	2,0198	6,6835
8,0	170,414	0,00111479	0,240328	721,018	2768,30	2047,28	2,0460	6,6615
8,5	172,943	0,00111803	0,226878	732,113	2770,76	2038,65	2,0708	6,6408
9,0	175,358	0,00112118	0,214874	742,725	2773,04	2030,31	2,0944	6,6212
9,5	177,669	0,00112425	0,204090	752,901	2775,15	2022,25	2,1169	6,6027
10,0	179,886	0,00112723	0,194349	762,683	2777,12	2014,44	2,1384	6,5850
10,5	182,017	0,00113015	0,185504	772,105	2778,95	2006,85	2,1591	6,5681
11,0	184,070	0,00113299	0,177436	781,198	2780,67	1999,47	2,1789	6,5520
11,5	186,050	0,00113578	0,170045	789,988	2782,27	1992,28	2,1979	6,5365
12,0	187,965	0,00113850	0,163250	798,499	2783,77	1985,27	2,2163	6,5217
12,5	189,817	0,00114118	0,156979	806,751	2785,17	1978,42	2,2340	6,5074
13,0	191,613	0,00114380	0,151175	814,764	2786,49	1971,73	2,2512	6,4936
13,5	193,355	0,00114638	0,145786	822,552	2787,73	1965,18	2,2678	6,4804
14,0	195,047	0,00114892	0,140768	830,132	2788,89	1958,76	2,2839	6,4675
14,5	196,693	0,00115141	0,136084	837,516	2789,98	1952,47	2,2995	6,4551
15,0	198,295	0,00115387	0,131702	844,717	2791,01	1946,29	2,3147	6,4431
15,5	199,856	0,00115629	0,127593	851,745	2791,97	1940,23	2,3294	6,4314
16,0	201,378	0,00115868	0,123732	858,610	2792,88	1934,27	2,3438	6,4200
16,5	202,864	0,00116103	0,120097	865,322	2793,73	1928,41	2,3578	6,4090
17,0	204,315	0,00116336	0,116668	871,888	2794,53	1922,64	2,3715	6,3983
17,5	205,733	0,00116565	0,113428	878,316	2795,28	1916,96	2,3848	6,3878
18,0	207,120	0,00116792	0,110362	884,614	2795,99	1911,37	2,3978	6,3776
18,5	208,477	0,00117016	0,107456	890,788	2796,65	1905,86	2,4105	6,3676

Συνεχίζεται

Από τον παραπάνω πίνακα βρίσκουμε ότι ο ειδικός όγκος του παραγόμενου ατμού είναι:

$$V'' = 0,177436 m^3 / kg$$

Επομένως η ογκομετρική παροχή του ατμού είναι:

$$\dot{V} = V'' \cdot D = 0,177436 m^3 / kg \cdot 8000 kg / h = 1419,5 m^3 / h \quad (4)$$

Μετατρέπουμε την ογκομετρική παροχή από  $m^3/h$  σε  $m^3/sec$  και βρίσκουμε:

$$\dot{V} = \frac{1419,5 m^3 / h}{3600 sec / h} = 0,394 m^3 / sec$$

Η ατμοπαραγωγή από την πράξη γνωρίζουμε ότι είναι:

$$D = 8t / h = 8000 kg / h$$

Μετατρέπουμε την ατμοπαραγωγή από  $kg/h$  σε  $kg/sec$  και βρίσκουμε:

$$D = \frac{8000 kg / h}{3600 sec / h} = 2,22 kg / sec$$

Ο υπολογισμός του χώρου του ατμού στον λέβητα επιτυγχάνεται βάσει του τύπου (κατά Dubbel):

$$V_D = \dot{m}_D \cdot \frac{1}{r'' \cdot \Delta} \quad (5)$$

όπου  $V_D$  ο χώρος που καταλαμβάνει ο ατμός στον ατμολέβητα σε  $m^3$ ,  $\dot{m}_D$  η ατμοπαραγωγή σε  $kg/sec$  ( $\dot{m}_D = D$ ),  $r''$  η πυκνότητα του ατμού για την συγκεκριμένη πίεση λειτουργίας και βάσει τύπου ορίζεται ως:

$$r'' = \frac{1}{V''} \quad (6)$$

Γνωρίζοντας τον ειδικό όγκο του ατμού για την συγκεκριμένη πίεση λειτουργίας από προηγούμενο ερώτημα να είναι ίσος:

$$V'' = 0,177436 m^3 / kg$$

Από την σχέση (6) έχουμε: 
$$r'' = \frac{1}{V''} = \frac{1}{0,177436 m^3 / kg} = 5,64 kg / m^3$$

και τέλος όπου  $\Delta$  είναι η φόρτιση του ατμοθαλάμου σε  $sec^{-1}$ . Από την πράξη γνωρίζουμε ότι η φόρτιση του ατμοθαλάμου για την κατασκευή μας είναι:

$$\Delta = 0,175 sec^{-1}$$

Επομένως όλα τα στοιχεία είναι γνωστά και αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση (5) βρίσκουμε:

$$V_D = \dot{m}_D \cdot \frac{1}{r'' \cdot \Delta} = 2,22^{kg/sec} \cdot \frac{1}{5,64^{kg/m^3} \cdot 0,175^{sec^{-1}}} = 2,25 m^3$$

## 2.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ

Για τον έλεγχο της διαμέτρου του φλογοσωλήνα ενδείκνυται ένας τύπος (Κατά τον Λέφα) όπου υπολογίζει την εξωτερική διάμετρο του φλογοσωλήνα έχοντας ως δεδομένο την διάμετρο του ατμολέβητα, ως εξής:

$$d_{εξ,φλ} = 0,5 \cdot D_{εξ}$$

γνωρίζουμε ότι  $D_{εξ} = 2400$  mm έτσι έχουμε:

$$d_{εξ,φλ} = 0,5 \cdot D_{εξ} = 0,5 \cdot 2400^{mm} = 1200 mm$$

Από πράξη ωστόσο έχουμε γνωστό ότι η εξωτερική διάμετρος του φλογοσωλήνα είναι:

$$d_{\varepsilon\xi,\phi\lambda}=1080 \text{ mm}$$

όπου αυτήν τελικά χρησιμοποιούμε για την διεκπεραίωση των υπολογισμών μας. Τέλος παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα του υπολογισμού της διαμέτρου κατά τον Λέφα σχεδόν συμπίπτει με το αποτέλεσμα της πράξης που έχουμε σαν δεδομένο.

## 2.6 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΕΝΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΚΑΙ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ

Για τον υπολογισμό των αποστάσεων των κέντρων μεταξύ τυμπάνου και φλογοσωλήνα θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο που ενδείκνυται για αυτή την μελέτη (κατά Loschge) που απαιτεί να είναι γνωστή η διάμετρος του τυμπάνου του ατμολέβητα, δηλαδή:

- Οριζοντίως ο φλογοσωλήνας θα τοποθετηθεί από το κέντρο του τυμπάνου δεξιά, σε απόσταση:

$$a=0,1 \cdot D_{\varepsilon\xi}$$

έχοντας γνωστό τη διάμετρο του τυμπάνου του ατμολέβητα  $D_{\varepsilon\xi}=2400\text{mm}$ , βρίσκουμε:

$$a=0,1 \cdot D_{\varepsilon\xi}=0,1 \cdot 2,4^{\text{m}}=0,24\text{m} \text{ ή } 240\text{mm}$$

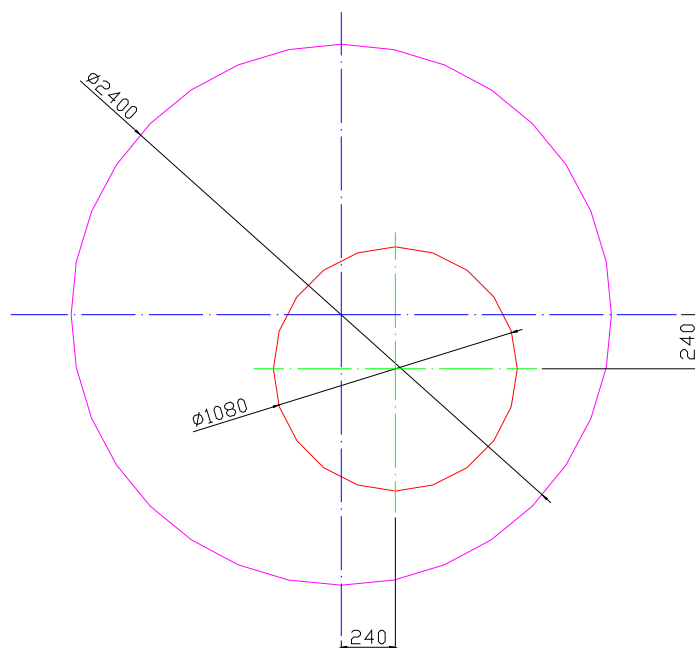
- Καθέτως ο φλογοσωλήνας θα τοποθετηθεί από το κέντρο του τυμπάνου προς τα κάτω, σε απόσταση:

$$\beta=0,1 \cdot D_{\varepsilon\xi}$$

Επομένως βρίσκουμε:

$$\beta=0,1 \cdot D_{\varepsilon\xi}=0,1 \cdot 2,4^{\text{m}}=0,24\text{m} \text{ ή } 240\text{mm}$$

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 9) διακρίνεται το σημείο τοποθέτησης του φλογοσωλήνα μέσα στο τύμπανο με τις απαιτούμενες αποστάσεις που πρέπει να έχει σε τομή.



**Σχήμα 9 :** Σημείο τοποθέτησης φλογοσωλήνα (κόκκινο χρώμα) μέσα στο τύμπανο (ροζ χρώμα)

## 2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ

Για να πραγματοποιείται σωστά η αμοπααραγωγή πρέπει ο φλογοσωλήνας και οι αεριαυλοί να καλύπτονται με νερό. Αυτό γίνεται, πρώτον για να ψύχονται τα υλικά δηλαδή να μην μειώνεται ουσιαστικά η αντοχή τους με την αύξηση της θερμοκρασίας και δεύτερον για να επικαλύπτονται όλες οι θερμαινόμενες επιφάνειες από νερό ώστε να έχουμε σωστή αμοπααραγωγή.

Αρχικά υπολογίζουμε την διαφορά από το υψηλότερο σημείο του φλογοσωλήνα μέχρι την μέση του τυμπάνου ως εξής:

$$h_{\varphi} = \frac{d_{ex,j1}}{2} - 240 \quad (7)$$

όπου  $d_{εξ,φλ}=1080\text{mm}$ , έτσι βρίσκουμε:

$$h_{\varphi} = \frac{d_{ex,j1}}{2} - 240 = \frac{1080^{mm}}{2} - 240 = 300\text{mm}$$

Κατόπιν αυτού υπολογίζουμε την ελάχιστη στάθμη του νερού από το υψηλότερο σημείο του φλογοσωλήνα ως εξής:

$$h = 0,1 \cdot D + 0,01 \quad (8)$$

όπου  $D = D_{εξ}$  η εξωτερική διάμετρος του τυμπάνου του ατμολέβητα  $D_{εξ} = 2400\text{mm}$ , έτσι από την σχέση (8) βρίσκουμε:

$$h = 0,1 \cdot D_{εξ} + 0,01 = 0,1 \cdot 2,4^m + 0,01 = 0,25\text{m} \text{ ή } 250\text{mm}$$

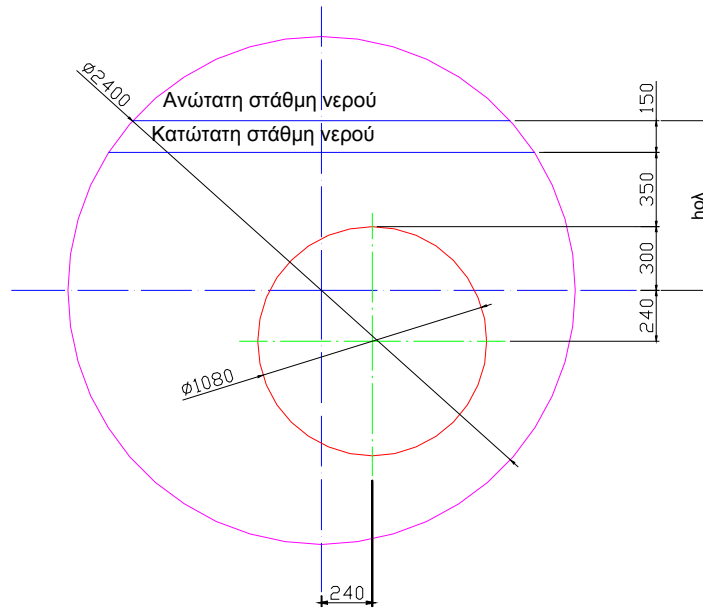
Επιπλέον για λόγους ασφαλείας, επειδή ο φλογοσωλήνας πρέπει να καλύπτεται με νερό δίδουμε μια προσάξηση των 100 mm και έχουμε:

$$h = 250^{mm} + 100^{mm} = 350\text{mm}$$

Στη συνέχεια απαιτείται ο υπολογισμός της διαφοράς της ανώτατης στάθμης νερού από το μέσον του τυμπάνου του ατμολέβητα. Για την υλοποίηση του υπολογισμού αυτού θέτουμε τη διαφορά της ανώτατης στάθμης ύδατος από την κατώτατη στάθμη ίση με  $\Delta s = 150\text{mm}$  βάσει προδιαγραφών και βρίσκουμε:

$$h_{ολ} = h_{\varphi} + h + \Delta s = 300^{mm} + 350^{mm} + 150^{mm} = 800\text{mm}$$

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 10) διακρίνονται όλες οι αποστάσεις που υπολογίστηκαν παραπάνω  $h_{\varphi}$ ,  $h$ ,  $\Delta s$  και  $h_{ολ}$ .

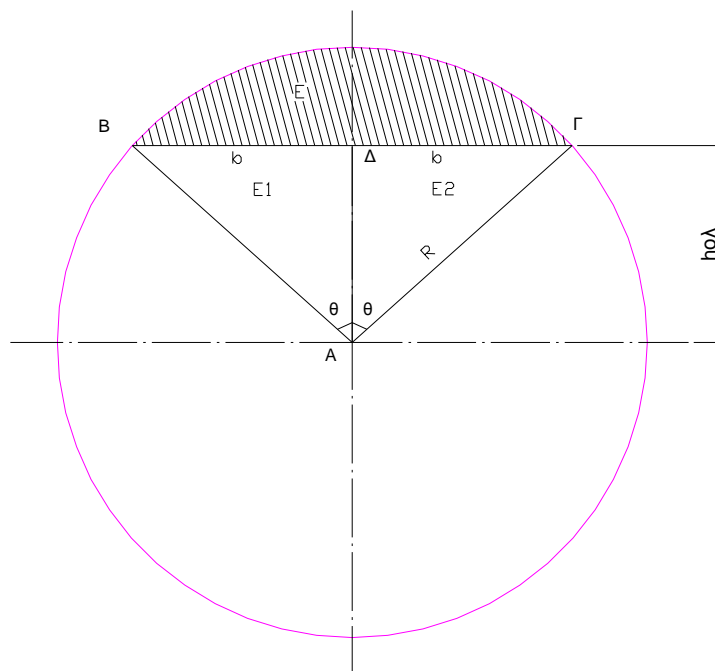


**Σχήμα 10:** Αποστάσεις  $h_{\phi}$ ,  $h$ ,  $\Delta s$  και  $h_{ολ}$

## 2.8 ΚΥΚΛΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Ο κυκλικός τομέας είναι το κομμάτι του τυμπάνου του ατμολέβητα που καταλαμβάνεται από ατμό. Αυτό βρίσκεται στο επάνω μέρος του ατμολέβητα και παρουσιάζεται σκιαγραφημένος στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 11). Βάσει του παρακάτω σχήματος θα γίνει ο υπολογισμός της επιφάνειας του κυκλικού τομέα.





**Σχήμα 11:** Κυκλικός τομέας μέσα στο τύμπανο του ατμολέβητα

Από προηγούμενους υπολογισμούς γνωρίζουμε ότι  $h_{0\lambda}=800$  mm όπου είναι και η μία κάθετη πλευρά του τριγώνου ΑΔΓ και ΑΔΒ.

Βάσει τριγωνομετρίας ισχύουν τα εξής:

$$R^2 = h_{0\lambda}^2 + b^2 \quad (9)$$

όπου R η υποτείνουσα του τριγώνου ΑΔΓ και b η μία κάθετη πλευρά του τριγώνου. Τα τρίγωνα ΑΔΓ και ΑΔΒ είναι ίσα δηλαδή οι πλευρές τους και οι γωνίες τους είναι μία προς μία ίσες.

$$\cos \theta = \frac{h_{0\lambda}}{R} = \frac{0,8^m}{1,2^m} = 0,666$$

$$\text{Άρα } \theta = \cos^{-1} 0,666 = 48,24^\circ$$

Το εμβαδόν του κυκλικού τομέα  $2\theta$  υπολογίζεται ως εξής:

$$E_I = \frac{2q}{2p} \cdot pR^2 \quad (10)$$

Το εμβαδόν των τριγώνων είναι:

$$E_2 = \frac{2b \cdot h}{2} = b \cdot h \quad (11)$$

Το εμβαδόν του κυκλικού τμήματος E (χωρίς ατμό) υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\begin{aligned} E &= E_1 - E_2 = q \cdot R^2 - b \cdot h \Rightarrow E = \frac{P}{180} \cdot q \cdot R^2 - \sqrt{R^2 - h^2} \cdot h \Rightarrow \\ \Rightarrow E &= \frac{PR^2}{180} \cdot \cos^{-1}\left(\frac{h}{R}\right) - R^2 \cdot \frac{h}{R} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h}{R}\right)^2} \Rightarrow \\ \Rightarrow E &= R^2 \left[ \frac{P}{180} \cdot \cos^{-1}\left(\frac{h}{R}\right) - \left(\frac{h}{R}\right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h}{R}\right)^2} \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow E &= 1,2^2 \left[ \frac{3,14}{180} \cdot 48,24 - 0,666 \cdot \sqrt{1 - (0,666)^2} \right] = 0,496 \approx 0,5m^2 \end{aligned}$$

Έχοντας γνωστό το μήκος του τυμπάνου όπου πραγματοποιείται η ατμοπαραγωγή  $L_{\lambda\epsilon\beta} = 5230 \text{ mm}$ , βρίσκουμε ότι ο όγκος του ατμού μέσα στο τύμπανο είναι:

$$V_D' = E \cdot L_{\lambda\epsilon\beta} = 0,5m^2 \cdot 5,23m = 2,61m^3 \quad (12)$$

Το αποτέλεσμα που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερο από το αποτέλεσμα που υπολογίσαμε στην ενότητα 2.4, δηλαδή:

$$V_D' > V_D \Rightarrow 2,61m^3 > 2,25m^3$$

Επομένως θα πραγματοποιηθεί επαλήθευση του όγκου του ατμού.

## 2.9 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟ ΟΓΚΟΥ $V_D$

Από το προηγούμενο ερώτημα είδαμε ότι η όγκος του ατμού που υπολογίσαμε από το μέγεθος του κυκλικού τομέα ήταν λίγο ανώτερος του όγκου του ατμού που είχαμε υπολογίσει στην ενότητα 2.4. Συνεπώς πραγματοποιούμε επαλήθευση του πραγματικού όγκου στον χώρο του τυμπάνου εφαρμόζοντας τον ειδικό τύπο σύμφωνα με τον Λέφα ως εξής:

$$\Delta_{\text{πραγματικό}} = \frac{\dot{V}}{V_D'} \quad (13)$$

όπου  $\Delta_{\text{πραγματικό}}$  είναι η πραγματική φόρτιση του αμοθαλάμου σε  $\frac{m^3}{m^3 \cdot \text{sec}}$

ή σε  $\text{sec}^{-1}$ ,  $\dot{V}$  η ογκομετρική παροχή του ατμού υπολογισμένη σε προηγούμενο ερώτημα και  $V_D'$  ο όγκος του ατμού που υπολογίσαμε στο προηγούμενο ερώτημα. Αντικαθιστώντας τα ήδη γνωστά μεγέθη στη σχέση (13) βρίσκουμε:

$$\Delta_{\text{πραγματικό}} = \frac{\dot{V}}{V_D'} = \frac{0,394 \text{ m}^3/\text{sec}}{2,61 \text{ m}^3} = 0,151 \text{ sec}^{-1}$$

Από την πράξη όμως είναι γνωστό ότι η φόρτιση του αμοθαλάμου είναι  $\Delta = 0,175 \text{ sec}^{-1}$ , η πραγματική φόρτιση του αμοθαλάμου υπολογίστηκε  $\Delta_{\text{πραγματικό}} = 0,151 \text{ sec}^{-1}$ , άρα προσεγγίσαμε σε ικανοποιητικό βαθμό τη τιμή της ειδικής φόρτισης που δόθηκε σαν δεδομένο στην αρχή των υπολογισμών και έτσι επιβεβαιώνουμε ότι ο όγκος του ατμού είναι:

$$V_D' = E \cdot L_{\lambda\epsilon\beta} = 0,5 \text{ m}^2 \cdot 5,23 \text{ m} = 2,61 \text{ m}^3$$

### 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΦΛΟΓΑΣ

#### 3.1 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης του πετρελαίου που καταναλώνει ο καυστήρας θα χρησιμοποιήσουμε τον νεότερο τύπο που ισχύει για στερεά και υγρά καύσιμα, δηλαδή:

$$H_u = 8130 \cdot c + 24300 \cdot h + 1500 \cdot n + 4560 \cdot s - 2350 \cdot o - 600 \cdot w \quad (14)$$

όπου  $c$  η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα (82,82%),  $h$  η περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο (10,83%),  $n$  η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άζωτο (0,18%),  $s$  η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο (3,90%),  $o$  η περιεκτικότητα του καυσίμου σε οξυγόνο (0,37%),  $w$  η περιεκτικότητα του καυσίμου σε υγρασία (0,98%), επομένως αντικαθιστώντας όλα τα παραπάνω μεγέθη στη σχέση (14) βρίσκουμε:

$$H_u = 8130 \cdot 0,8282 + 24300 \cdot 0,1083 + 1500 \cdot 0,0018 + 4560 \cdot 0,039 - \\ - 2350 \cdot 0,0037 - 600 \cdot 0,0098 = 9530,92 \Rightarrow H_u = 9531 \text{ Kcal/kg}$$

### 3.2 ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Το καύσιμο που καταναλώνει ο καυστήρας της κατασκευής μας είναι βαρύ πετρέλαιο του τύπου μαζούτ 35008Redwood, έτσι είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε την παροχή του καυσίμου που καταναλώνει ο καυστήρας σε μία ώρα λειτουργίας του. Η παροχή του καυσίμου υπολογίζεται ως εξής:

$$B = \frac{D \cdot \Delta h}{h \cdot H_u} \quad (15)$$

όπου  $B$  η ωριαία κατανάλωση καυσίμου σε kg/h,  $D$  η ατμοπαραγωγή σε kg/h,  $\Delta h$  η διαφορά ενθαλπίας όπου ουσιαστικά είναι η θερμότητα που απαιτείται για την παραγωγή 1kg ατμού σε Kcal/kg,  $h$  ο βαθμός απόδοσης του ατμολέβητα (αδιάστατος) και τέλος  $H_u$  η θερμογόνο δύναμη του καυσίμου που χρησιμοποιούμε σε Kcal/kg.

Η θερμότητα που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού ατμού είναι η διαφορά ενθαλπίας  $\Delta h$  μεταξύ του εξερχόμενου ατμού και του εισερχόμενου νερού στον λέβητα και ορίζεται ως:

$$\Delta h = h_{\text{ατμού}} - h_{\text{νερού}} \quad (16)$$

Από τον Πίνακα 2.1 (προηγούμενης ενότητας) με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου για πίεση λειτουργίας  $P=11\text{bar}$  βρίσκουμε την ενθαλπία του κορεσμένου ατμού ίση με:

$$h_{\text{ατμού}} = 2780,67 \text{ KJ/kg}$$

Η ενθαλπία του εισερχόμενου θερμού νερού σε θερμοκρασία  $T_w=1028\text{C}$  υπολογίζεται επίσης από Πίνακα με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου.

**Πίνακας 3.1:** Θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού και ατμού σε κατάσταση κορεσμού (Γιαννόπουλος Χρ. Ανδρέας, «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί»)

Θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού και ατμού σε κατάσταση κορεσμού  
(Πίνακας Θερμοκρασίας)

Θερμοκρασία		Απόλυτη Πίεση	Ειδικός Όγκος		Ενθαλπία		Θερμότητα ατμοποίησης	Εντροπία	
T	t		Νερό	Ατμός	Νερό	Ατμός		Νερό	Ατμός
°C	°K	P	v'	v''	h'	h''	r = h'' - h'	s'	s''
		bar	m <sup>3</sup> /Kg	m <sup>3</sup> /Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg°K	KJ/Kg°K
91	364,15	0,728904	0,00103667	2,27705	381,176	2661,16	2279,98	1,2042	7,4653
92	365,15	0,756849	0,00103740	2,19830	385,385	2662,78	2277,39	1,2158	7,4526
93	366,15	0,785681	0,00103813	2,12275	389,595	2664,39	2274,80	1,2273	7,4400
94	367,15	0,815420	0,00103887	2,05025	393,806	2666,01	2272,20	1,2387	7,4275
95	368,15	0,846089	0,00103962	1,98065	398,019	2667,61	2269,60	1,2502	7,4150
96	369,15	0,877711	0,00104038	1,91383	402,232	2669,22	2266,98	1,2616	7,4027
97	370,15	0,910308	0,00104114	1,84965	406,447	2670,81	2264,37	1,2730	7,3904
98	371,15	0,943902	0,00104190	1,78801	410,663	2672,40	2261,74	1,2844	7,3782
99	372,15	0,978518	0,00104268	1,72878	414,880	2673,99	2259,11	1,2957	7,3661
100	373,15	1,01418	0,00104346	1,67186	419,099	2675,57	2256,47	1,3070	7,3541
102	375,15	1,08873	0,00104503	1,56454	427,541	2678,72	2251,18	1,3296	7,3303
104	377,15	1,16776	0,00104663	1,46529	435,988	2681,84	2245,85	1,3520	7,3068
106	379,15	1,25147	0,00104826	1,37342	444,440	2684,94	2240,50	1,3743	7,2836
108	381,15	1,34007	0,00104991	1,28831	452,899	2688,02	2235,12	1,3965	7,2607
110	383,15	1,43376	0,00105158	1,20939	461,363	2691,07	2229,70	1,4187	7,2380
112	385,15	1,53277	0,00105328	1,13615	469,834	2694,09	2224,26	1,4407	7,2157
114	387,15	1,63734	0,00105500	1,06813	478,312	2697,09	2218,78	1,4626	7,1937
116	389,15	1,74768	0,00105675	1,00489	486,796	2700,07	2213,27	1,4844	7,1719
118	391,15	1,86404	0,00105853	0,946070	495,287	2703,02	2207,73	1,5062	7,1504
120	393,15	1,98685	0,00106033	0,891304	503,785	2705,93	2202,15	1,5278	7,1291
122	395,15	2,11578	0,00106215	0,840276	512,290	2708,82	2196,53	1,5494	7,1081
124	397,15	2,25168	0,00106400	0,792695	520,803	2711,69	2190,88	1,5708	7,0873
126	399,15	2,39480	0,00106588	0,748294	529,323	2714,52	2185,19	1,5922	7,0668
128	401,15	2,54481	0,00106778	0,706832	537,851	2717,32	2179,47	1,6134	7,0465
130	403,15	2,70260	0,00106971	0,668084	546,388	2720,09	2173,70	1,6346	7,0264
132	405,15	2,86823	0,00107167	0,631849	554,933	2722,83	2167,89	1,6557	7,0066
134	407,15	3,04199	0,00107365	0,597939	563,486	2725,53	2162,04	1,6767	6,9869
136	409,15	3,22417	0,00107566	0,566183	572,048	2728,20	2156,15	1,6977	6,9675
138	411,15	3,41508	0,00107770	0,536425	580,620	2730,84	2150,22	1,7185	6,9483
140	413,15	3,61501	0,00107976	0,508519	589,200	2733,44	2144,24	1,7393	6,9293
142	415,15	3,82427	0,00108185	0,482334	597,790	2736,01	2138,22	1,7600	6,9105
144	417,15	4,04318	0,00108397	0,457748	606,390	2738,54	2132,15	1,7806	6,8918
146	419,15	4,27205	0,00108612	0,434648	615,000	2741,04	2126,04	1,8011	6,8734
148	421,15	4,51122	0,00108830	0,412931	623,621	2743,50	2119,88	1,8216	6,8551
150	423,15	4,76101	0,00109050	0,392502	632,252	2745,92	2113,67	1,8420	6,8370
152	425,15	5,02177	0,00109274	0,373273	640,893	2748,30	2107,41	1,8623	6,8191
154	427,15	5,29383	0,00109501	0,355162	649,546	2750,64	2101,10	1,8825	6,8014
156	429,15	5,57755	0,00109730	0,338095	658,211	2752,95	2094,74	1,9027	6,7838
158	431,15	5,87329	0,00109963	0,322002	666,887	2755,21	2088,32	1,9228	6,7664
160	433,15	6,18139	0,00110199	0,306818	675,575	2757,43	2081,86	1,9428	6,7491
162	435,15	6,50224	0,00110438	0,292486	684,275	2759,61	2075,33	1,9627	6,7320
164	437,15	6,83619	0,00110680	0,278948	692,988	2761,75	2068,76	1,9826	6,7150
166	439,15	7,18364	0,00110925	0,266155	701,714	2763,84	2062,13	2,0025	6,6982
168	441,15	7,54495	0,00111174	0,254059	710,453	2765,89	2055,44	2,0222	6,6815
170	443,15	7,92053	0,00111426	0,242616	719,206	2767,89	2048,69	2,0419	6,6649

Συνεχίζεται

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η ενθαλπία του κορεσμένου νερού είναι ίση με:

$$h_{\text{νερού}}=427,541 \text{ KJ/kg}$$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω μεγέθη στη παραπάνω σχέση βρίσκουμε ότι η διαφορά ενθαλπίας είναι:

$$\Delta h = h_{\text{ατμού}} - h_{\text{νερού}} = 2780,67 \text{ KJ/kg} - 427,541 \text{ KJ/kg} = 2355,13 \text{ KJ/kg}$$

Μετατρέπουμε την ενθαλπία σε Kcal/kg γνωρίζοντας ότι  $1 \text{ Kcal} = 4,187 \text{ KJ}$ , οπότε έχουμε:

$$\Delta h = 2355,13 \text{ KJ/kg} / 4,187 \text{ KJ/Kcal} = 562,5 \text{ Kcal/kg}$$

$$\Rightarrow \Delta h = 562,5 \text{ Kcal/kg}$$

Κατόπιν αυτού βάσει της σχέσης (15) και γνωρίζοντας όλα τα μεγέθη αντικαθιστούμε και βρίσκουμε:

$$B = \frac{D \cdot \Delta h}{h \cdot H_u} = \frac{8000 \text{ kg/h} \cdot 562,5 \text{ Kcal/kg}}{0,88 \cdot 9531 \text{ Kcal/kg}} = 536,5 \text{ kg/h}$$

### 3.3 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ

Η ελάχιστη ποσότητα του αέρα καύσεως υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L_0 = 8,89 \cdot c + 26,7 \cdot \left( h - \frac{o}{8} \right) + 3,33 \cdot s \quad (17)$$

Έχοντας γνωστά όλα τα μεγέθη από προηγούμενο ερώτημα αντικαθιστούμε τις περιεκτικότητες  $c$ ,  $h$ ,  $o$ ,  $s$  και βρίσκουμε:

$$\begin{aligned} L_0 &= 8,89 \cdot 0,8282 + 26,7 \cdot \left( 0,1083 - \frac{0,037}{8} \right) + 3,33 \cdot 0,039 = \\ &= 10,37 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

(\*)  $1 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  (κανονικό κυβικό μέτρο) ορίζεται η κατάσταση ενός αερίου το οποίο βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες δηλαδή σε θερμοκρασία  $T = 273 \text{ K}$  ( $0^\circ \text{C}$ ) και σε πίεση  $P = 1,01325 \text{ bar}$ .

### 3.4 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΞΗΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των ξηρών καπναερίων δηλαδή των καπναερίων που δεν έχουν υγρασία υπό τη μορφή υδρατμών, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_{tr}=8,89 \cdot c + 21,1 \cdot \left( h - \frac{o}{8} \right) + 3,33 \cdot s + 0,796 \cdot n \quad (18)$$

Αντικαθιστώντας όλα τα γνωστά μεγέθη  $c$ ,  $h$ ,  $o$ ,  $s$ ,  $n$  βρίσκουμε ότι:

$$V_{tr}=8,89 \cdot 0,8282 + 26,7 \cdot \left( 0,1083 - \frac{0,037}{8} \right) + 3,33 \cdot 0,039 + 0,796 \cdot$$

$$\cdot 0,0018 = 9,77 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

### 3.5 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΓΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των υγρών καπναερίων δηλαδή των καπναερίων που έχουν υγρασία στη σύσταση τους υπό την μορφή υδρατμών, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_{\theta}=8,89 \cdot c + 32,29 \cdot h - 21,1 \cdot \frac{o}{8} + 3,33 \cdot s + 0,796 \cdot n + 1,244 \cdot w \quad (19)$$

Αντικαθιστώντας όλα τα γνωστά μεγέθη  $c$ ,  $h$ ,  $o$ ,  $s$ ,  $n$ ,  $w$  βρίσκουμε ότι:

$$V_{\theta}=8,89 \cdot 0,8282 + 32,29 \cdot 0,1083 - 21,1 \cdot \frac{0,0037}{8} + 3,33 \cdot 0,39 +$$

$$+ 0,796 \cdot 0,0018 + 1,244 \cdot 0,0098 = 10,99 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$



### 3.6 ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΣΕ CO<sub>2</sub>

Ο υπολογισμός της μέγιστης περιεκτικότητας των καπναερίων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) γίνεται βάσει της ποσότητας των ξηρών καπναερίων με τον τύπο:

$$K_{max} = \frac{1,867 \cdot c}{V_{tr}} \quad (20)$$

Αντικαθιστώντας τα ήδη υπολογισμένα μεγέθη  $c$ ,  $V_{tr}$  στη παραπάνω σχέση βρίσκουμε:

$$K_{max} = \frac{1,867 \cdot c}{V_{tr}} = \frac{1,867 \cdot 0,8282}{9,77^{Nm^3/kg}} = 0,158 \Rightarrow K_{max} = 15,8\%$$

### 3.7 ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΕΩΣ

Η περίσσεια αέρα καύσεως υπολογίζεται βάσει της πραγματικής περιεκτικότητας των καπναερίων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από τον τύπο:

$$\lambda = 1 + \left( \frac{K_{max}}{k} - 1 \right) \cdot \frac{V_{tr}}{L_0} \quad (21)$$

Έχοντας γνωστά τα μεγέθη  $K_{max}$ ,  $K$ ,  $V_{tr}$ ,  $L_0$  αντικαθιστούμε στην παραπάνω σχέση (21) και βρίσκουμε ότι η περίσσεια του αέρα καύσεως είναι:

$$\lambda = 1 + \left( \frac{K_{max}}{k} - 1 \right) \cdot \frac{V_{tr}}{L_0} = 1 + \left( \frac{15,8}{13} - 1 \right) \cdot \frac{9,77^{Nm^3/kg}}{10,37^{Nm^3/kg}} = 1,20$$

### 3.8 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΞΗΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των πραγματικών ξηρών καπναερίων, τα οποία περιλαμβάνουν και την περίσσεια του αέρα καύσεως υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_{R,tr}=V_{tr} + (\lambda-1)\cdot L_0 \quad (22)$$

Έχοντας γνωστά τα μεγέθη  $V_{tr}$ ,  $L_0$ ,  $\lambda$  βρίσκουμε ότι η ποσότητα των ξηρών καπναερίων είναι:

$$V_{R,tr}=V_{tr} + (\lambda-1)\cdot L_0 = V_{tr} \cdot \frac{K_{\max}}{k} = 9,77^{Nm^3/kg} \cdot \frac{15,8}{13} = 11,87Nm^3/kg$$

### 3.9 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Η ποσότητα των υγρών καπναερίων, τα οποία περιλαμβάνουν και την περίσσεια του αέρα καύσεως υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_R=V_0 + (\lambda-1)\cdot L_0 \quad (23)$$

Γνωρίζουμε τα μεγέθη  $V_0$ ,  $\lambda$ ,  $L_0$  και αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση (23) βρίσκουμε:

$$V_R=V_0 + (\lambda-1)\cdot L_0 = 10,99^{Nm^3/kg} + (1,20-1)\cdot 10,37^{Nm^3/kg} = 13,06Nm^3/kg$$

### 3.10 ΜΗΚΟΣ ΦΛΟΓΑΣ

Το μήκος της φλόγας δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνά το μήκος του φλογοσωλήνα και σε γενικές γραμμές πρέπει να διακυμαίνεται περίπου στα 2/3 του μήκους του φλογοσωλήνα. Για τον υπολογισμό του μήκους της φλόγας θα χρησιμοποιήσουμε τον γνωστό τύπο που ισχύει για υγρά καύσιμα:

$$L_f = \dot{m}_b^{0,379} \cdot [0,36 + 0,128 \cdot (e^{-16(n-1)} - 1)] \quad (24)$$

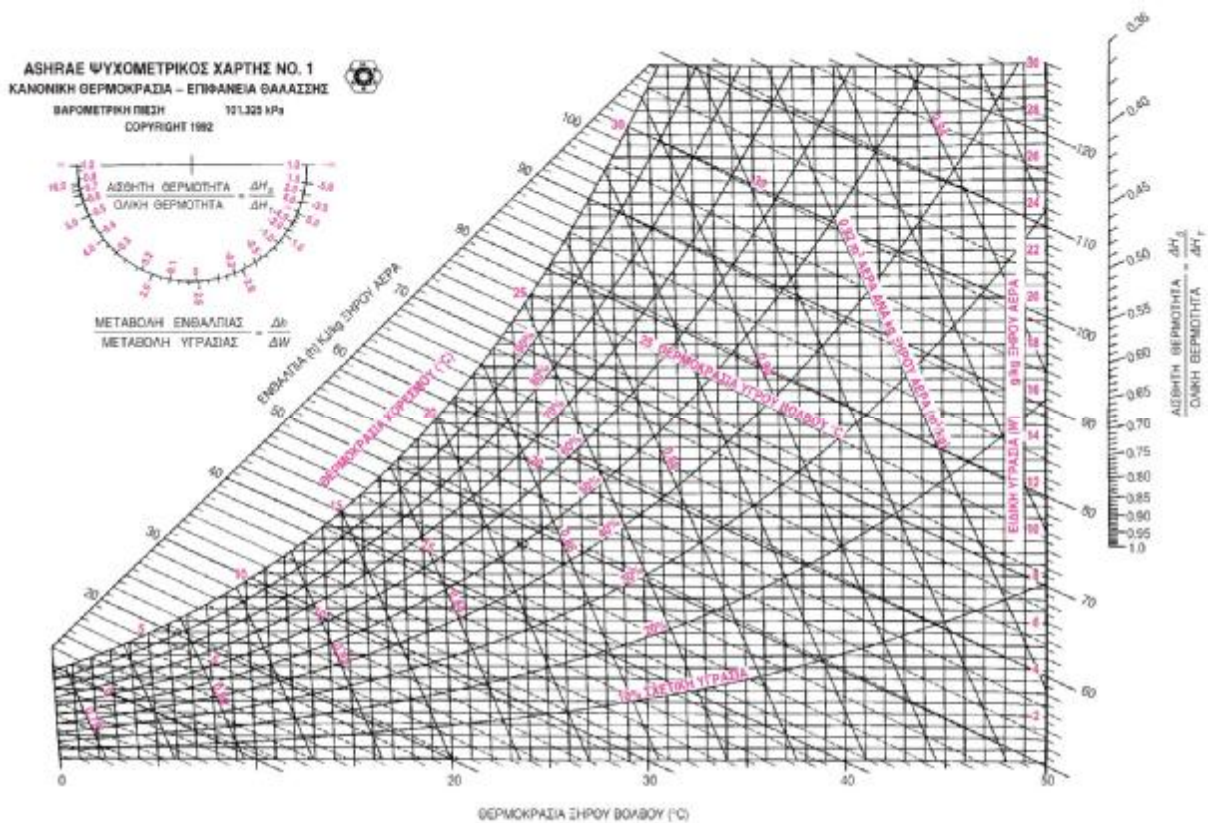
όπου  $L_f$  το μήκος της φλόγας σε m,  $\dot{m}_b$  η παροχή του καυστήρα σε kg/h ( $\dot{m}_b = B$ ),  $n$  ο λόγος του αέρα καύσεως.

Ο λόγος του αέρα καύσεως  $n$  υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$n = \frac{r_1 \cdot l \cdot L_o}{r_2 \cdot L_o}$$

όπου  $\rho_1$  η πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία  $T_1=258C$  σε  $kg/m^3$ ,  $\rho_2$  η πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία  $T_2=08C$  σε  $kg/m^3$ ,  $\lambda$  η περίσσεια αέρα καύσεως (αδιάστατος) και  $L_o$  η ελάχιστη ποσότητα αέρα καύσεως σε  $Nm^3/kg$ .

Από τον ψυχομετρικό χάρτη γνωρίζοντας ότι η σχετική υγρασία του αέρα καύσεως είναι  $RH=50\%$  για τις δύο θερμοκρασίες  $T_1=258C$  και  $T_2=08C$  βρίσκουμε τον ειδικό όγκο του αέρα ανά kg ξηρού αέρα για τα δύο σημεία πάνω στο χάρτη. (Σχήμα 12)



Σχήμα 12: Ψυχομετρικός χάρτης κατά Ashrae (Χάρτης από διαδίκτυο)

Για θερμοκρασία  $T_1=25^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία  $RH=50\%$  διακρίνουμε από τον ψυχομετρικό χάρτη ότι ο ειδικός όγκος του αέρα ανά kg ξηρού αέρα είναι:

$$v''_1 = 0,848 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Γνωρίζοντας όμως ότι η πυκνότητα ισούται με:  $r'' = \frac{1}{v''}$  αντικαθιστούμε τον ειδικό όγκο και βρίσκουμε:

$$r''_1 = \frac{1}{v''_1} = \frac{1}{0,848 \text{ m}^3/\text{kg}} = 1,18 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Για θερμοκρασία  $T_2=0^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία  $RH=50\%$  παρατηρούμε από τον ψυχομετρικό χάρτη ότι ο ειδικός όγκος του αέρα ανά kg ξηρού αέρα είναι:

$$V''_2 = 0,77 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Αντικαθιστώντας επίσης στην προηγούμενη σχέση τον ειδικό όγκο βρίσκουμε ότι η πυκνότητα του αέρα είναι:

$$r''_2 = \frac{1}{V''_2} = \frac{1}{0,77 \text{ m}^3/\text{kg}} = 1,30 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Γνωρίζοντας τα μεγέθη  $\lambda$ ,  $\rho_1$  και  $\rho_2$  μπορούμε να υπολογίσουμε τον λόγο του αέρα καύσεως ως εξής:

$$n = \frac{r_1 \cdot l \cdot L_o}{r_2 \cdot L_o} = \frac{1,18 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 1,20}{1,30 \text{ kg}/\text{m}^3} = 1,089$$

$$\Rightarrow n = 1,089$$

Από την σχέση (24) αντικαθιστώντας την παροχή του καυσίμου  $\dot{m}_b$  και τον λόγο του αέρα καύσεως βρίσκουμε ότι το μήκος της φλόγας είναι:

$$\begin{aligned} L_f &= \dot{m}_b^{0,379} \cdot [0,36 + 0,128 \cdot (e^{-16(n-1)} - 1)] = \\ &= 536,5^{0,379 \text{ kg} / \text{h}} \cdot [0,36 + 0,128 \cdot (e^{-16(1,089-1)} - 1)] = 2,84 \text{ m} \end{aligned}$$

### 3.11 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΦΛΟΓΑΣ

Η διάμετρος της φλόγας του καυστήρα πρέπει να μην ξεπερνάει τη διάμετρο του φλογοσωλήνα και να βρίσκεται σε κάποια απόσταση εντός των τοιχωμάτων του. Για τον υπολογισμό της διαμέτρου της φλόγας θα χρησιμοποιήσουμε τον γνωστό τύπο που ισχύει για υγρά καύσιμα:

$$D_f = \dot{m}_b^{0,387} \cdot [0,147 + 0,025 \cdot (e^{-22 \cdot (n-1)} - 1)] \quad (25)$$

όπου  $D_f$  η διάμετρος της φλόγας σε m,  $\dot{m}_b$  η παροχή του καυστήρα σε kg/h ( $\dot{m}_b = B$ ),  $n$  ο λόγος του αέρα καύσεως. Τα μεγέθη είναι ήδη γνωστά από προηγούμενους υπολογισμούς, οπότε αντικαθιστώντας τα γνωστά στοιχεία στην σχέση (25) βρίσκουμε ότι η διάμετρος της φλόγας είναι:

$$D_f = \dot{m}_b^{0,387} \cdot [0,147 + 0,025 \cdot (e^{-22 \cdot (n-1)} - 1)] =$$

$$= 535,3^{0,387 \text{ kg/h}} \cdot [0,147 + 0,025 \cdot (e^{-22 \cdot (1,089-1)} - 1)] = 1,36 \text{ m}$$

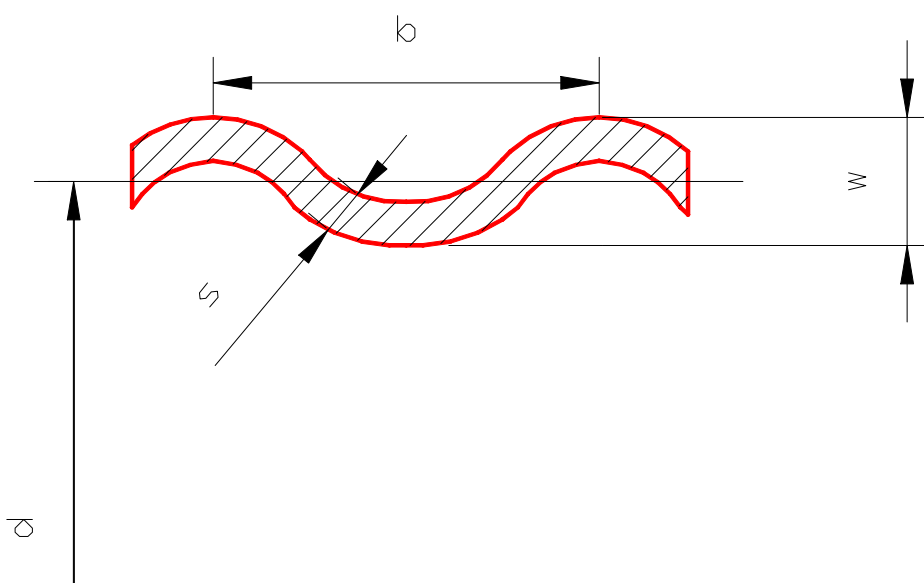
Η διάμετρος του φλογοσωλήνα από την πράξη γνωρίζουμε ότι είναι  $d_{\xi, \phi\lambda} = 1080 \text{ mm}$  ή  $1,08 \text{ m}$  και ο υπολογισμός μας προέκυψε μεγαλύτερος σε σύγκριση με την διάμετρο του φλογοσωλήνα. Συνεπώς θα χρησιμοποιήσουμε ακροφύσιο με μικρότερη γωνία ψεκασμού καυσίμου ώστε κατά την καύση η φλόγα να περιορίζεται και να μην ακουμπά τα τοιχώματα του φλογοσωλήνα.

## 4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ

### 4.1 ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΠΙΕΣΗ (για κυματοειδής φλογοσωλήνες)

Ο φλογοσωλήνας της κατασκευής μας βάσει προδιαγραφών είναι κυματοειδής και όχι κυλινδρικός όπως έχουν οι συνήθεις ατμολέβητες (Σχήμα 13). Ο υπολογισμός της μέγιστης επιτρεπτής πίεσης που μπορεί να δεχθεί ο φλογοσωλήνας της κατασκευής μας πραγματοποιείται βάσει του τύπου:

$$P_{max} = 100 \cdot \frac{K}{S} \cdot \frac{2F}{b \cdot d} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{d}{l}}{1 + \frac{F \cdot w \cdot d}{800 \cdot I} \cdot \frac{u}{1 + 5 \cdot \frac{d}{l} \cdot \left(\frac{s-1}{w}\right)^2}} \quad (26)$$



Σχήμα 13: Κατά μήκος τομή μέρους φλογοσωλήνα

όπου  $P_{max}$  η μέγιστη επιτρεπτή πίεση σε atü,  $K$  η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού σε  $\text{kp/mm}^2$ ,  $S$  ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό,  $F$  η επιφάνεια μιας κατά μήκος τομής πλάτους  $b$  και πάχους  $(s-1)$  σε  $\text{mm}^2$ ,  $w$  το βάθος του κύματος σε  $\text{mm}$ ,  $b$  το βήμα του κύματος σε  $\text{mm}$ ,  $d$  η μέση διάμετρος του φλογοσωλήνα σε  $\text{mm}$ ,  $I$  η ροπή αδράνειας της διατομής  $F$  πλάτους  $b$  και πάχους  $(s-1)$  σε  $\text{mm}^4$  και  $L$  το μήκος του φλογοσωλήνα σε  $\text{mm}$ .

Βάσει προδιαγραφών είναι δεδομένο ότι ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτό είναι:

$$S=2,5$$

Το πάχος του φλογοσωλήνα ( $s = s_{\phi\lambda}$ ) δίδεται από την πράξη και είναι ίσο με:

$$s_{\phi\lambda}=17\text{mm}$$

Το βήμα του κύματος του ελάσματος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι βάσει κανονισμών ίσο με:

$$b=151\text{mm}$$

Το βάθος του κύματος του ελάσματος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι βάσει κανονισμών ίσο με:

$$w=50\text{mm}$$

Επομένως με βάση το βήμα, το βάθος και το πάχος  $(s-1)$  του κύματος θα υπολογίσουμε την ροπή αδράνειας και την επιφάνεια μιας κατά μήκος τομής  $b$  και πάχους  $(s-1)$  από τον παρακάτω πίνακα.



**Πίνακας 4.1:** Ροπή αδράνειας  $I$  διατομής  $F$  φλογοσωλήνων με βήμα  $b=151\text{mm}$  (Λέφας Χ. Κωνσταντίνος, Εστίες και Ατμοπαραγωγοί)

Πάχος ( $s-1$ )	Ροπή Αδράνειας $I$ ( $\text{mm}^4$ ) $\times 10^4$		Επιφάνεια $F$ ( $\text{mm}^2$ ) $\times 10^2$	
	$w=50\text{mm}$	$w=75\text{mm}$	$w=50\text{mm}$	$w=75\text{mm}$
9	30,0	100,0	15,5	19,4
10	32,3	109,8	17,8	21,8
11	33,7	115,0	19,0	23,6
12	34,7	120,7	20,7	25,6
13	35,7	125,7	22,5	27,6
14	36,6	130,0	24,0	29,3
15	37,6	134,2	25,6	31,1
16	38,5	138,0	27,2	32,9
17	39,5	141,5	28,7	34,7
18	40,4	145,0	30,2	36,5
19	41,3	147,9	31,6	38,1

Για πάχος ελάσματος του φλογοσωλήνα ίσο με  $(s-1)=17-1=16\text{mm}$  και βάθος κύματος  $w=50\text{mm}$  η ροπή αδράνειας  $I$  βάσει του παραπάνω πίνακα είναι ίση με:

$$I=38,5 \cdot 10^4 \text{mm}^4 = 385000 \text{mm}^4$$

Επίσης η επιφάνεια μιας κατά μήκος τομής πλάτους  $b$  και πάχους  $(s-1)$  είναι ίση με:

$$F=27,2 \cdot 10^2 \text{mm}^2 = 2720 \text{mm}^2$$

Η μέση διάμετρος του φλογοσωλήνα από την πράξη γνωρίζουμε ότι είναι ίση με:

$$d_{\text{εξ,φλ}}=1080\text{mm}$$

Το μήκος επίσης του φλογοσωλήνα από την πράξη γνωρίζουμε ότι είναι ίσο με:

$$L_{\text{φλ}}=5230\text{mm}$$

Η απόκλιση από τον θεωρητικό κύκλο (μη κυκλικότητα) για κυματοειδής φλογοσωλήνες είναι ίση με:

$$u=1\%=0,01$$

Η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται. Το υλικό που χρησιμοποιούμε για την κατασκευή του φλογοσωλήνα είναι 17 Mn 4 και η θερμοκρασία υπολογισμού είναι ίση με:

$$\theta_{\phi\lambda}=185+4\cdot 17 +30=2838C$$

**Πίνακας 4.2:** Χαρακτηριστική τιμή αντοχής  $K$  χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες, (Στεργίου Κ. Ιωάννης, «Στοιχεία Μηχανών Ι»)

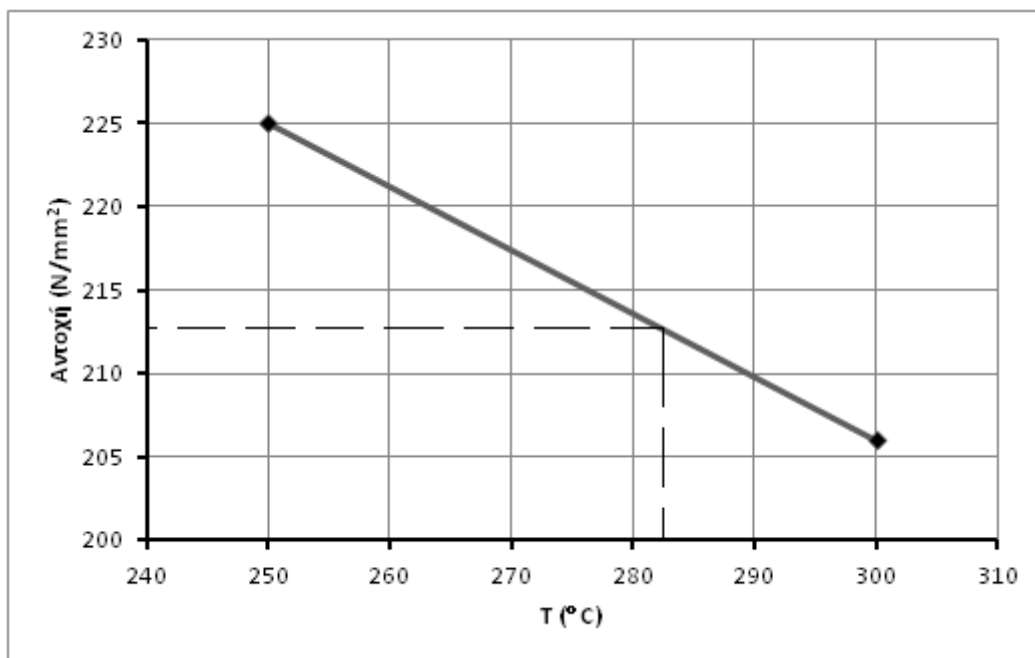
Υλικό		Χαρακτηριστική τιμή αντοχής $K$ σε $N/mm^2$ για $^{\circ}C$													
		20	50	100	120	160	200	250	300	350	400	450	500	520	550
Ελαστικά λείβητων DIN 17155	HI	216	209	198	190	183	176	167	137	118	98	78	29		
	HIH	245	242	238	227	217	206	186	157	137	118	98	29		
	HIH	265	262	258	246	236	225	206	176	157	137	118	29		
	HIV	275	271	268	257	246	235	216	186	167	147	127	29		
	17 Mn 4	275	269	262	256	251	245	225	206	176	157	137	39	30	
	19 Mn 5	314	306	292	281	270	265	245	225	206	176	157	39	30	
	15 Mo 3	265	262	256	252	249	245	225	196	176	167	157	137	59	31
	13 CrMo 4	294	291	285	281	278	274	255	235	216	206	196	176	94	49
Ελαστικά από χαλύβα πατισσένων DIN 17100	USt 34-1, RSt 34-1	175	171	165	165										
	USt 37-1, RSt 37-1	205	198	187	187										
	USt 34-2, RSt 34-2	175	171	165	165	154	143	127	108						
	USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3	205	198	187	187	174	161	143	122						
	RSt 46-2, St 46-3	235	228	216	216	201	186	177	147						
	St 52-3	314	291	255	255	240	226	206	186						
Μορφοποιημέ- νος & σφαιρι- λατος χαλύβης DIN 17100	USt 34-2, RSt 34-2	175	171	165	165	154	143	127	108						
	USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3	205	198	187	187	174	161	143	122						
	USt 42-2, RSt 42-2	225	218	206	206	191	176	167	137						
	St 52-3	314	291	254	254	240	226	206	186						
Σολήνης DIN 1626 και 1629	St 34-2	175	175	165	165	154	143	127	108						
	St 35, St 37-2	205	205	187	187	174	161	143	122						
	St 45, St 42-2	220	220	205	205	191	178	161	139						
Σολήνης ζωστής οξυγέ DIN 17175	St 35.8	235	227	214	208	197	186	167	137	118	108	69			
	St 45.8	255	247	233	227	217	206	186	157	137	127	69			
	15 Mo 3	284	279	271	269	262	255	235	206	186	176	167	93	59	
	13 CrMo 4 4	294	291	285	283	278	274	255	235	216	206	196	137	94	49
	10 CrMo 9 10	265	262	256	251	248	245	235	225	216	206	196	142	108	66
Χυτο- χαλύβης DIN 1681	GS-38.3	185	183	181	181	164	157	137	118						
	GS-45.3	225	220	216	216	190	177	157	137						
Χημιζάλης αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες DIN 17245	GS-C25	245	233	214	214	194	175	160	145	135	130	125			
	GS-22 Mo 4	245	236	221	221	205	190	177	165	155	150	145	135		
	GS-17 CrMo 5 5	315	305	288	288	271	255	242	230	215	205	190	180	172	160
	GS-18 CrMo 9 10	400	392	380	380	367	355	350	345	330	315	305	280	264	240
	GS-17 CrMo V 5 11	440	431	416	416	400	385	375	365	350	335	320	300	284	260
	G-X 8 CrNi 12	355	341	319	319	297	275	270	265	260	255				
	G-X 22 CrMoV 12 1	590	575	550	550	525	500	485	470	460	445	420	365	339	300
Οστενιτικοί χαλύβης DIN 17440	X 10 CrNiTi 18 9	190	190	176	169	162	155	145	136	130	125	121	119	119	118
	X 5 CrNiMo 18 10	195	195	175	165	155	145	135	127	120	115	112	110	109	108
	X 10 CrNiMoNb 18 10	205	205	190	181	173	165	155	145	140	135	131	129	128	127
	X 10 CrNiMoTi 18 10	205	205	190	181	173	165	155	145	140	135	131	129	128	127
	X 5 CrNiMo 18 12	185	185	165	155	146	137	127	119	113	108	103	100	99	98

Από τον παραπάνω πίνακα με την χαρακτηριστική αντοχή  $K$  χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες του βιβλίου «Στοιχεία Μηχανών Ι» του Κωνσταντίνου Ι. Στεργίου, βρίσκουμε για το υλικό 17 Mn 4 για θερμοκρασία  $T_a=250^{\circ}C$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=225N/mm^2$$

και για θερμοκρασία  $T_b=3008C$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=206 \text{ N/mm}^2$$



**Σχήμα 14:** Διάγραμμα της αντοχής υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας

Η συνάρτηση είναι φθίνουσα διότι με την άνοδο της θερμοκρασίας η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού μειώνεται οπότε πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία  $\theta_{\phi\lambda}=2838C$  και βρίσκουμε:

$$\frac{x - 206}{225 - 206} = \frac{300 - 283}{300 - 250} \Rightarrow x - 206 = 6,46 \Rightarrow x = 212,5 \text{ N/mm}^2$$

Άρα η αντοχή του υλικού είναι  $K=212,5\text{N/mm}^2$

Μετατρέπουμε την αντοχή σε  $\text{kp/mm}^2$  από τον τύπο και έχουμε:

$$K = \frac{212,5 \text{ N/mm}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 21,7 \text{ kp/mm}^2$$

Αντικαθιστούμε στην αρχική σχέση (26) όλα τα παραπάνω μεγέθη και βρίσκουμε ότι η μέγιστη επιτρεπτή πίεση που μπορεί να δεχθεί ο φλογοσωλήνας είναι:

$$P_{max} = 100 \cdot \frac{K}{S} \cdot \frac{2F}{b \cdot d} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{d}{l}}{1 + \frac{F \cdot w \cdot d}{800 \cdot I} \cdot \frac{u}{1 + 5 \cdot \frac{d}{l} \cdot \left(\frac{s-1}{w}\right)^2}} =$$

$$= 100 \cdot \frac{21,7^{kp/mm^2}}{2,5} \cdot \frac{2 \cdot 2720^{mm^2}}{151^{mm} \cdot 1080^{mm}} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{1080^{mm}}{5230^{mm}}}{1 + \frac{2720^{mm^2} \cdot 50^{mm} \cdot 1080^{mm}}{800 \cdot 385000^{mm^4}} \cdot \frac{0,01}{1 + 5 \cdot \frac{1080^{mm}}{5230^{mm}} \cdot \left(\frac{17^{mm} - 1}{50^{mm}}\right)^2}} =$$

$$\Rightarrow P_{max} = 29,4 \text{ atü}$$

Η μέγιστη πίεση που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερη της πίεσης λειτουργίας  $29,4 \text{ atü} > 10 \text{ atü}$ , επομένως η κατασκευής μας αντέχει.

## 4.2 ΠΑΧΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ

Για τον υπολογισμό του πάχους του ελάσματος του κυλινδρικού τοιχώματος του τυμπάνου του ατμολέβητα θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο:

$$s = \frac{Da \cdot P}{200 \cdot \frac{K}{S} \cdot u + P} + c_1 \quad (27)$$

όπου  $s$  το πάχος του ελάσματος σε mm,  $Da$  η εξωτερική διάμετρος του τυμπάνου του λέβητα σε mm,  $P$  η πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα σε atü,  $K$  η αντοχή του υλικού για την θερμοκρασία λειτουργίας σε  $N/mm^2$ ,  $S$  ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό,  $v$  ο συντελεστής εξασθενίσεως για τις συγκολλήσεις και  $c_1$  το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις όπου προστίθεται στον υπολογισμό για λόγους ασφαλείας σε mm.

Για να μην συγχέουμε τα διάφορα πάχη θα θέσουμε όπου  $s = s_\lambda$ .

Από την πράξη έχουμε γνωστά την πίεση λειτουργίας του λέβητα που είναι ίση με:

$$P=10atü$$

και την εξωτερική διάμετρο του λέβητα που είναι ίση με:

$$D_{εξ}=2400mm$$

Ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτό τίθεται βάσει κανονισμών ίσος με:

$$S=1,5$$

Ο συντελεστής εξασθένισης για τις συγκολλήσεις για καλή ποιότητα της ραφής τίθεται βάσει κανονισμών ίσος με:

$$v=0,8$$

Το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις για λόγους αντοχής και ασφαλείας της κατασκευής μας με βάση τις προδιαγραφές τίθεται ίσος με:

$$c_I=1,2mm$$

Η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται. Το υλικό που χρησιμοποιούμε για την κατασκευή του τυμπάνου του λέβητα είναι χάλυβας HII και η θερμοκρασία υπολογισμού είναι ίση με:

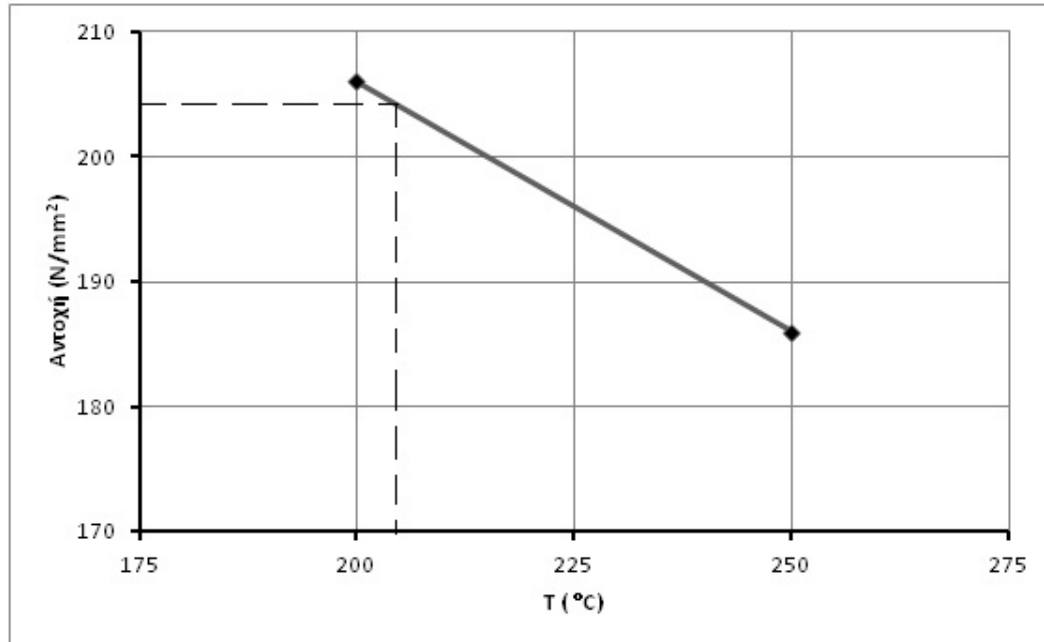
$$\theta_{\lambda}=185+20=2058C$$

Από τον πίνακα 4.2 με την χαρακτηριστική αντοχή  $K$  χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες του βιβλίου «Στοιχεία Μηχανών Ι» του Κωνσταντίνου Ι. Στεργίου, βρίσκουμε για χάλυβα HII και θερμοκρασία  $T_a=2508C$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=186N/mm^2$$

και για θερμοκρασία  $T_b=2008C$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=206N/mm^2$$



**Σχήμα 15:** Διάγραμμα της αντοχής υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η συνάρτηση είναι φθίνουσα διότι με την άνοδο της θερμοκρασίας, η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού μειώνεται οπότε πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία  $\theta_l=2058C$  και έχουμε:

$$\frac{x-186}{206-186} = \frac{250-205}{250-200} \Rightarrow x-186 = 18 \Rightarrow x = 204N/mm^2$$

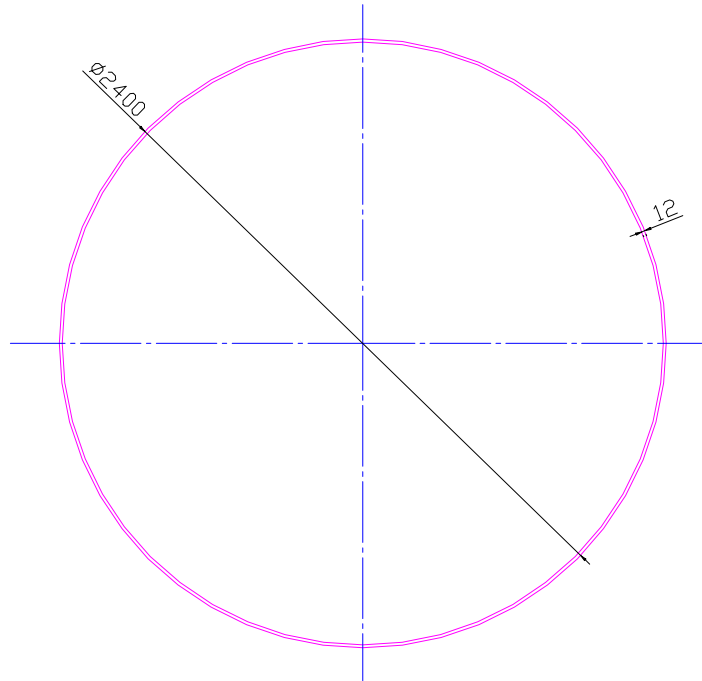
Μετατρέπουμε την αντοχή σε  $kp/mm^2$  από τον τύπο και βρίσκουμε:

$$K = \frac{204^{N/mm^2}}{9,81^{m/s^2}} = 20,8kp/mm^2$$

Αντικαθιστούμε στην αρχική σχέση (27) όλα τα παραπάνω μεγέθη και βρίσκουμε ότι το πάχος του ελάσματος του τυμπάνου είναι:

$$s_{\lambda} = \frac{Da \cdot P}{200 \cdot \frac{K}{S} \cdot u + P} + c_1 = \frac{2400^{mm} \cdot 10^{at\#}}{200 \cdot \frac{20,8^{kp/mm^2}}{1,5} \cdot 0,8 + 10^{at\#}} + 1,2^{mm} = 11,97^{mm}$$

$$\Rightarrow s_{\lambda} = 12^{mm}$$



**Σχήμα 16:** Σχηματική διάταξη του τυμπάνου του λέβητα

### 4.3 ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΥΘΜΕΝΩΝ ΛΕΒΗΤΑ

Ο υπολογισμός των επίπεδων πυθμένων του λέβητα γίνεται βάσει του γνωστού τύπου:

$$s = C \cdot (D_b - r_k) \cdot \sqrt{\frac{P}{100 \cdot \frac{K}{S}}} + c_1 \quad (28)$$

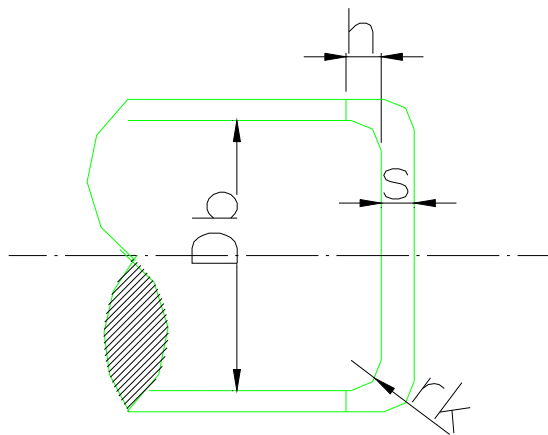
όπου  $s$  το πάχος του επίπεδου πυθμένα σε mm,  $C$  ο συντελεστής υπολογισμού,  $D_b$  η διάμετρος του κύκλου ο οποίος δύναται να εγγραφεί εντός τουλάχιστον τριών σημείων στηρίξεως,  $r_k$  η εσωτερική ακτίνα



αναστροφής του πυθμένα σε mm,  $P$  η πίεση λειτουργίας σε atü,  $K$  η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού σε  $\text{kp/mm}^2$ ,  $S$  συντελεστής ασφαλείας του υπολογισμού και  $c_1$  το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις όπου προστίθεται στον υπολογισμό για λόγους ασφαλείας σε mm.

Ο συντελεστής υπολογισμού  $C$  βάσει των κανονισμών για του πυθμένες του παρακάτω σχήματος είναι ίσος με:

$$C=0,35$$



**Σχήμα 17:** Σχηματική αναπαράσταση επίπεδου πυθμένα λέβητα.

Η εσωτερική ακτίνα αναστροφής για επίπεδους πυθμένες όπως του σχήματος (Σχήμα 17) πρέπει να είναι βάσει του τύπου ίση με:

$$r_k < 1,3 \cdot s$$

όπου  $s = s_1$  το πάχος του κυλινδρικού τοιχώματος του λέβητα. Επομένως αντικαθιστώντας βρίσκουμε ότι:

$$r_k < 1,3 \cdot s < 1,3 \cdot 12^{\text{mm}} < 15,6\text{mm}$$

Για λόγους ασφαλείας στην κατασκευή μας θα τον θέσουμε ως:

$$r_k = 16\text{mm}$$

Επίσης το  $h$  του παραπάνω σχήματος πρέπει να είναι βάσει προδιαγραφών  $h < s$ .

Η πίεση λειτουργίας του λέβητα είναι ίση με:

$$P=10atü$$

Ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτό τίθεται βάσει κανονισμών ίσος με:

$$S=1,5$$

Η διάμετρος του κύκλου ο οποίος δύναται να εγγραφεί εντός τουλάχιστον τριών σημείων στηρίζεως είναι ίση με:

$$D_b=600mm$$

Το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις για λόγους αντοχής και ασφαλείας της κατασκευής μας με βάση τις προδιαγραφές τίθεται ίσος με:

$$c_1=1,2mm$$

Το υλικό των πυθμένων του ατμολέβητα είναι χάλυβας ΗΠΙ και η θερμοκρασία υπολογισμού είναι ίδια με του προηγούμενου ερωτήματος, δηλαδή  $\theta_\lambda=2058C$ . Άρα και η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού είναι ίση με:

$$K=20,8kp/mm^2$$

Για να μην συγχέουμε τα διάφορα πάχη θα θέσουμε όπου  $s=s_\pi$

Αντικαθιστώντας όλα τα γνωστά μεγέθη στη σχέση (28) βρίσκουμε ότι το πάχος των επίπεδων πυθμένων είναι:

$$s_\pi = C \cdot (D_b - r_k) \cdot \sqrt{\frac{P}{100 \cdot \frac{K}{S}}} + c_1 =$$

$$= 0,35 \cdot (600 - 16)^{mm} \cdot \sqrt{\frac{10^{at\#}}{100 \cdot \frac{20,8^{kp/mm^2}}{1,5}}} + 1,2^{mm} = 18,56mm$$

$$\Rightarrow s_{\pi} = 19mm$$

#### 4.4 ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΦΛΟΓΟΣΩΛΗΝΑ

Τα επίπεδα τοιχώματα του φλογοσωλήνα δηλαδή οι αναστροφείς καυσαερίων τοποθετούνται μέσα στον ατμολέβητα και χρησιμεύουν στην κυκλοφορία των καπναερίων από τον φλογοσωλήνα έως την έξοδό του στη καπνοδόχο. Ο υπολογισμός του πάχους των αναστροφών των καπναερίων πραγματοποιείται βάση του τύπου (κατά TRD):

$$s = C \cdot b \cdot y \cdot \sqrt{\frac{P}{K}} + c_1 \quad (29)$$

όπου  $s$  το πάχος του κελύφους του αναστροφέα καυσαερίων σε mm,  $C$  ο συντελεστής υπολογισμού,  $b$  οι διαστάσεις ενός ορθογωνίου που δύναται να εγγραφεί εντός των θέσεων στηρίζεώς του δηλαδή  $b$  η μικρότερη πλευρά και  $b \cdot y$  λαμβάνει τη μέγιστη τιμή,  $y$  ο συντελεστής αναλογίας,  $P$  η πίεση λειτουργίας σε  $N/mm^2$ ,  $K$  η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού σε  $N/mm^2$ ,  $S$  συντελεστής ασφαλείας του υπολογισμού και  $c_1$  το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις όπου προστίθεται στον υπολογισμό για λόγους ασφαλείας σε mm.

*Για τον πρώτο αναστροφέα καυσαερίων αμέσως μετά τον φλογοσωλήνα γνωρίζουμε βάσει κανονισμών ότι:*

Ο συντελεστής υπολογισμού  $C$  για τον πρώτο αναστροφέα καυσαερίων είναι ίσος με:

$$C=0,40$$

Οι διαστάσεις ενός ορθογωνίου με πλευρές  $b \cdot y$  να είναι ίσες με:

$$b \cdot y = 449.1079 \text{ mm}$$

Ο συντελεστής αναλογίας  $y$  βάσει κανονισμών είναι ίσος με:

$$y = 1,4403$$

Ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτόν τίθεται βάσει κανονισμών ίσος με:

$$S = 1,5$$

Η πίεση λειτουργίας του λέβητα είναι ίση με:

$$P = 10 \text{ atü} = 1 \text{ N/mm}^2$$

Το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις για λόγους αντοχής και ασφαλείας της κατασκευής μας με βάση τις προδιαγραφές τίθεται ίσο με:

$$c_1 = 1,2 \text{ mm}$$

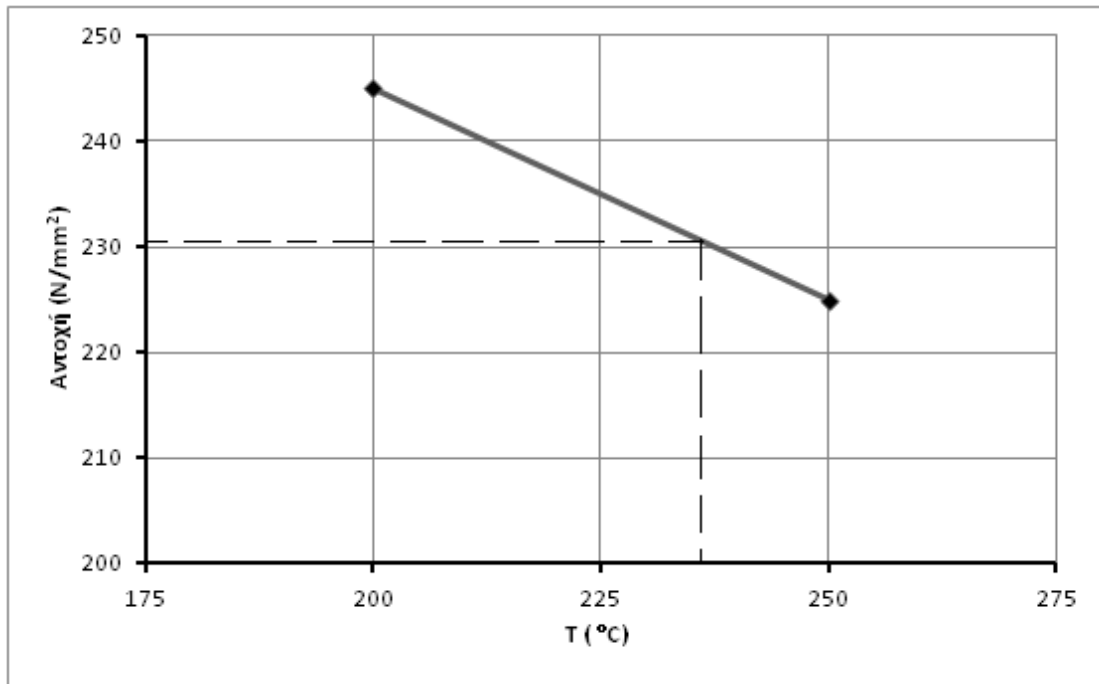
Το υλικό των αναστροφών των καπναερίων είναι χάλυβας 17 Mn 4 και η θερμοκρασία υπολογισμού είναι  $\theta_{av} = 2358 \text{ C}$  από την πράξη.

Από τον πίνακα 4.2 με την χαρακτηριστική αντοχή  $K$  χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες του βιβλίου «Στοιχεία Μηχανών Ι» του Κωνσταντίνου Ι. Στεργίου, παρατηρούμε για χάλυβα 17 Mn 4 και θερμοκρασία  $T_a = 2508 \text{ C}$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K = 225 \text{ N/mm}^2$$

και για θερμοκρασία  $T_b = 2008 \text{ C}$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K = 245 \text{ N/mm}^2$$



**Σχήμα 18:** Διάγραμμα της αντοχής υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 18) της αντοχής του υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας παρατηρούμε ότι η συνάρτηση είναι φθίνουσα διότι με την άνοδο της θερμοκρασίας η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού μειώνεται οπότε πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία  $\theta_{av} = 2358C$  και βρίσκουμε:

$$\frac{x - 225}{245 - 225} = \frac{250 - 235}{250 - 200} \Rightarrow x = 231$$

$$\text{Άρα } K = 231 \text{ N/mm}^2$$

Για να μην συγχέουμε τα διάφορα πάχη θα θέσουμε όπου  $s = s_1$ .

Αντικαθιστώντας όλα τα μεγέθη στην σχέση (29) βρίσκουμε ότι το πάχος του ελάσματος του κελύφους του αναστροφέα καυσαερίων είναι:

$$s_1 = C \cdot b \cdot y \cdot \sqrt{\frac{P}{K}} + c_1 = 0,40 \cdot 449^{mm} \cdot 1,4403 \cdot \sqrt{\frac{1^{N/mm^2}}{231^{N/mm^2}}} + 1,2^{mm} = 22,7mm$$

$$\Rightarrow s_1 = 23mm$$

Για τον οπίσθιο αναστροφέα καυσαερίων γνωρίζουμε βάσει κανονισμών ότι:

Ο συντελεστής υπολογισμού  $C$  για τον πρώτο αναστροφέα καυσαερίων είναι ίσος με:

$$C=0,375$$

Οι διαστάσεις ενός ορθογωνίου με πλευρές  $b \cdot y$  να είναι ίσες με:

$$b \cdot y = 385.1162 \text{ mm}$$

Ο συντελεστής αναλογίας  $y$  βάσει κανονισμών είναι ίσος με:

$$y=1,481$$

Ο συντελεστής ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτό τίθεται βάσει κανονισμών ίσος με:

$$S=1,5$$

Η πίεση λειτουργίας του λέβητα είναι ίση με:

$$P=10 \text{ atü} = 1 \text{ N/mm}^2$$

Το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις για λόγους αντοχής και ασφαλείας της κατασκευής μας με βάση τις προδιαγραφές τίθεται ίσος με:

$$c_I = 1,2 \text{ mm}$$

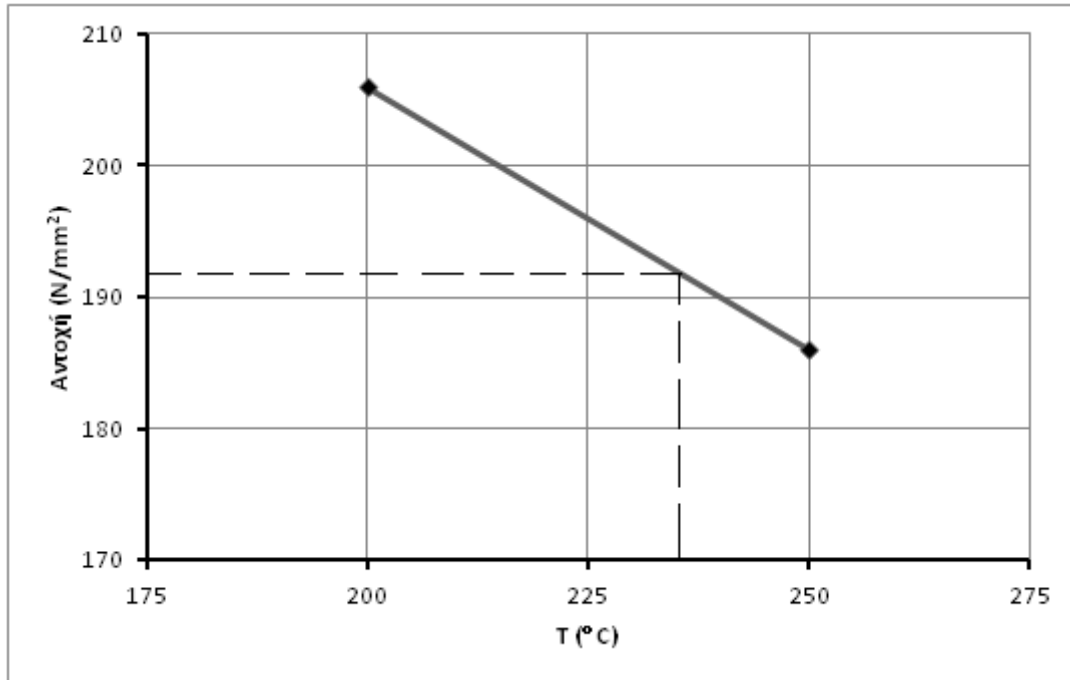
Το υλικό των αναστροφέων των καυσαερίων είναι χάλυβας HII και η θερμοκρασία υπολογισμού είναι  $\theta_{av} = 2358 \text{ C}$  από την πράξη.

Από τον πίνακα 4.2 με την χαρακτηριστική αντοχή  $K$  χάλυβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες του βιβλίου «Στοιχεία Μηχανών Ι» του Κωνσταντίνου Ι. Στεργίου, παρατηρούμε για χάλυβα HII για θερμοκρασία  $T_a = 2508 \text{ C}$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=186\text{N/mm}^2$$

και για θερμοκρασία  $T_b=2008\text{C}$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=206\text{N/mm}^2$$



**Σχήμα 19:** Διάγραμμα της αντοχής υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Σχήμα 19), διακρίνουμε ότι η συνάρτηση είναι φθίνουσα διότι με την άνοδο της θερμοκρασίας η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού ελαττώνεται οπότε πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία  $\theta_{av}=2358\text{C}$  και έχουμε:

$$\frac{x-186}{206-186} = \frac{250-235}{250-200} \Rightarrow x=192$$

$$\text{Άρα } K=192\text{N/mm}^2$$

Για να μην συγχέουμε τα διάφορα πάχη θα θέσουμε όπου  $s=s_2$ .

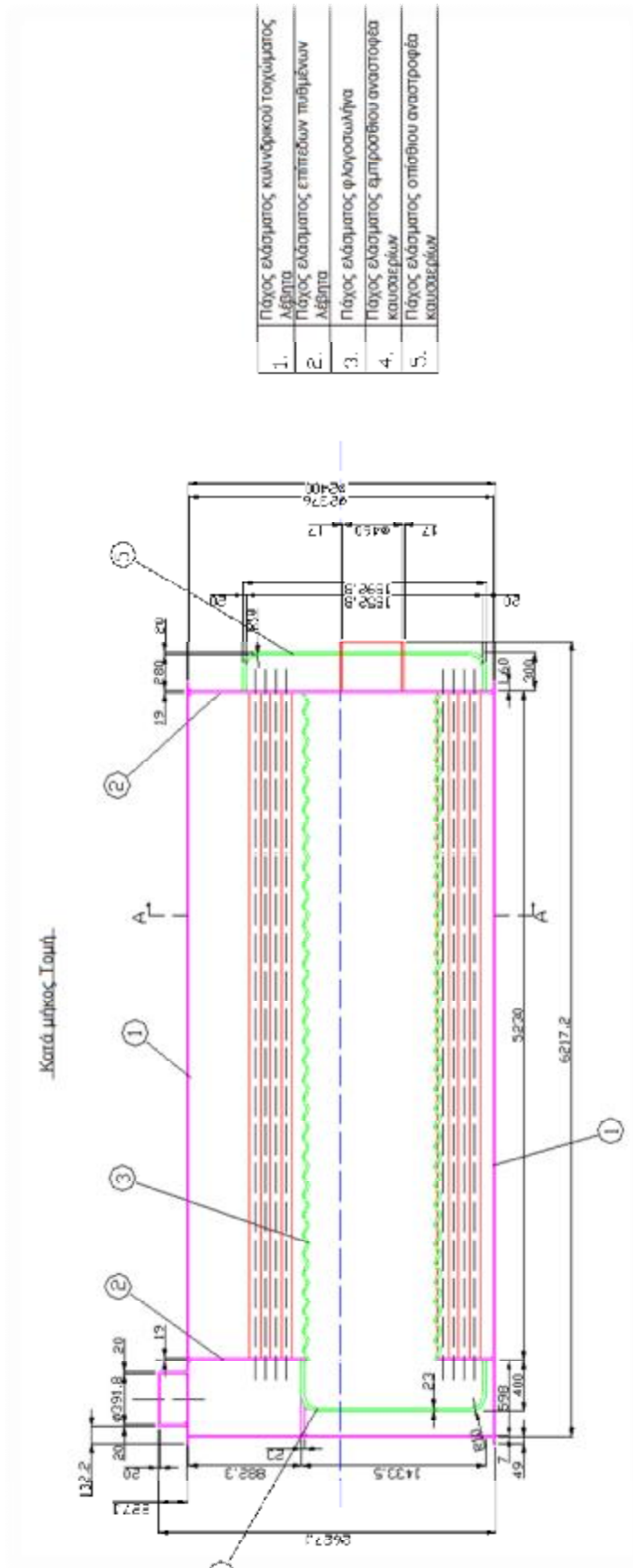
Αντικαθιστώντας όλα τα μεγέθη στην σχέση (29) βρίσκουμε ότι το πάχος του ελάσματος του οπίσθιου αναστροφέα καυσαερίων είναι:

$$s_2 = C \cdot b \cdot y \cdot \sqrt{\frac{P}{K}} + c_1 = 0,375 \cdot 385^{mm} \cdot 1,481 \cdot \sqrt{\frac{1^{N/mm^2}}{192^{N/mm^2}}} + 1,2mm = 20mm$$

$$\Rightarrow s_2 = 20mm$$

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 20) παρουσιάζονται όλα τα πάχη των ελασμάτων δηλαδή το πάχος ελάσματος του κυλινδρικού τοιχώματος του λέβητα, το πάχος του ελάσματος των επίπεδων πυθμένων του λέβητα και το πάχος ελάσματος του κυματοειδής φλογοσωλήνα. Επίσης παρουσιάζεται το πάχος των ελασμάτων των αναστροφέων των καυσαερίων, του εμπρόσθιου και του οπίσθιου καθώς και διάφορες άλλες διαστάσεις του ατμολέβητα.





Σχήμα 20: Κατά μήκος τομή ατμολέβητα

## 5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΕΡΙΑΥΛΩΝ

### 5.1 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΠΝΑΕΡΙΩΝ

Τα καπναέρια από τον φλογοσωλήνα όπου πραγματοποιείται η καύση, μέχρι την έξοδο τους ακολουθούν τρεις διαδρομές. Σε κάθε διαδρομή η πραγματική παροχή είναι διαφορετική. Είναι απαραίτητη η μελέτη της πραγματικής παροχής των καπναερίων σε κάθε διαδρομή ξεχωριστά για να υπολογίσουμε τον αριθμό των αεριαυλών που θα τοποθετηθούν σε κάθε διαδρομή. Για τον υπολογισμό της πραγματικής παροχής των καπναερίων αρχικά θα πρέπει να υπολογίσουμε τον ειδικό όγκο των καπναερίων σε κάθε διαδρομή.

#### 1<sup>η</sup> διαδρομή

Η πρώτη διαδρομή είναι αυτή όπου τα καπναέρια φεύγουν από τον φλογοσωλήνα της εγκατάστασης μας σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία.

Από προηγούμενο ερώτημα έχουμε υπολογίσει ότι η ποσότητα των πραγματικών υγρών καπναερίων (με περίσσεια αέρα) για το καύσιμο που καταναλώνει ο καυστήρας είναι ίση με:

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

Η ποσότητα των υγρών καπναερίων (με περίσσεια αέρα) είναι ίση με  $V_R=13,06 \text{ Nm}^3/\text{kg}$  για κανονικές συνθήκες ( $V_R=V_0$ ), δηλαδή για θερμοκρασία  $T_0=08\text{C}$  και πίεση  $P_0=1\text{atm}$ .

Από την πράξη γνωρίζουμε ότι η μέση θερμοκρασία των καπναερίων κατά την έξοδο από τον ατμολέβητα είναι ίση με:

$$T_I=11008C$$

Μετατρέπουμε τις θερμοκρασίες  $T_0$ ,  $T_I$  σε βαθμούς Kelvin για την διεκπεραίωση των υπολογισμών μας και έχουμε:

$$T_0=0^{8C}+273^K=273K$$

$$T_I=11008C+273^K=1373K$$

Από τον συνδυαστικό νόμο των τελείων αερίων ισχύει ότι:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} \quad (30)$$

Η πίεση των καπναερίων δεν μεταβάλλεται από την έξοδο των καπναερίων από το φλογοσωλήνα έως την έξοδο από την καπνοδόχο και είναι ίση με  $P_0=1\text{atm}$ , επομένως ισχύει:

$$P_0=P_1$$

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση (30) τα γνωστά μεγέθη και βρίσκουμε ότι ο ειδικός όγκος των καπναερίων για την πρώτη διαδρομή είναι:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1} \Rightarrow V_1 = \frac{V_0 \cdot T_1}{T_0} = \frac{13,06^{Nm^3/kg} \cdot 1373^K}{273^K} = 65,7m^3/kg$$

$$\Rightarrow V_1 = 65,7m^3/kg$$

Η πραγματική παροχή των καπναερίων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Q = V \cdot B \quad (31)$$

όπου  $Q$  η πραγματική παροχή των καπναερίων σε  $m^3/sec$ ,  $V$  ο ειδικός όγκος των καπναερίων σε  $m^3/kg$  και  $B$  η κατανάλωση του καυσίμου σε  $kg/sec$ .

Η παροχή του καυσίμου βάσει προηγούμενου υπολογισμού είναι:

$$B=537kg/h$$

Μετατρέπουμε την παροχή του καυσίμου σε  $kg/sec$  και βρίσκουμε ότι:

$$B=\frac{537^{kg/h}}{3600^{sec/h}}=0,1492kg/sec$$

Αντικαθιστούμε όλα τα στοιχεία στη σχέση (31) και βρίσκουμε για την πρώτη διαδρομή:

$$Q_1=V_1 \cdot B=65,7^{m^3/kg} \cdot 0,1492^{kg/s}=9,80m^3/s$$

## 2<sup>η</sup> διαδρομή

Η δεύτερη διαδρομή των καπναερίων είναι αυτή, όπου οι αεριαυλοί φέρνουν τα καπναέρια στο εμπρόσθιο μέρος του ατμολέβητα.

Για την δεύτερη διαδρομή γνωρίζουμε από την πράξη ότι η μέση θερμοκρασία των καπναερίων είναι ίση με:

$$T_2=800^{\circ}C$$

Επίσης η πίεση των καπναερίων δεν μεταβάλλεται οπότε ισχύει ότι:

$$P_1=P_2$$

Μετατρέπουμε τη θερμοκρασία  $T_2$  σε βαθμούς Kelvin για την διεκπεραίωση των υπολογισμών μας και έχουμε:

$$T_2=800^{^{\circ}C}+273^K=1073K$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (30) βρίσκουμε ότι ο ειδικός όγκος των καπναερίων για την δεύτερη διαδρομή είναι:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{65,7^{m^3/kg} \cdot 1073^K}{1373^K} = 51,3m^3/kg$$

$$\Rightarrow V_2 = 51,3m^3/kg$$

Έχοντας γνωστά όλα τα στοιχεία, αντικαθιστώντας τα στην σχέση (31) βρίσκουμε ότι η πραγματική παροχή των καπναερίων για τη δεύτερη διαδρομή είναι:

$$Q_2 = V_2 \cdot B = 51,3^{m^3/kg} \cdot 0,1492^{kg/s} = 7,65m^3/s$$

### 3<sup>η</sup> διαδρομή

Η τρίτη διαδρομή των καπναερίων είναι αυτή όπου οι αεριαυλοί οδηγούν τα καπναέρια στο οπίσθιο μέρος του ατμολέβητα προς την καπνοδόχο.

Για την τρίτη διαδρομή γνωρίζουμε από την πράξη ότι η μέση θερμοκρασία των καπναερίων είναι ίση με:

$$T_2 = 400^{\circ}C$$

Επίσης η πίεση των καπναερίων δεν μεταβάλλεται οπότε ισχύει ότι:

$$P_2 = P_3$$

Μετατρέπουμε τη θερμοκρασία  $T_3$  σε βαθμούς Kelvin για την διεκπεραίωση των υπολογισμών μας και έχουμε:

$$T_3 = 400^{\circ}C + 273^K = 673K$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (30) βρίσκουμε ότι ο ειδικός όγκος των καπναερίων για την τρίτη διαδρομή είναι:

$$\frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow V_3 = \frac{V_2 \cdot T_3}{T_2} = \frac{51,3^{m^3/kg} \cdot 673^K}{1073^K} = 32,2m^3 / kg$$

$$\Rightarrow V_3 = 32,2m^3 / kg$$

Έχοντας γνωστά όλα τα στοιχεία, αντικαθιστώντας τα στην σχέση (31) βρίσκουμε ότι η πραγματική παροχή των καπναερίων για τη τρίτη διαδρομή είναι:

$$Q_3 = V_3 \cdot B = 32,2^{m^3/kg} \cdot 0,1492^{kg/s} = 4,80m^3 / s$$

## 5.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΕΡΙΑΥΛΩΝ

Οι αεριαυλοί χρησιμοποιούνται ως αγωγοί για την μεταφορά των καπναερίων από τον φλογοσωλήνα στην καπνοδόχο του ατμολέβητα. Ακόμα παίζουν σημαντικό ρόλο στην αμοπαγωγή διότι μέσω της μετάδοσης θερμότητας, θερμαίνουν το νερό που βρίσκεται μέσα στο τύμπανο καθώς στο εσωτερικό τους διαπερνούν θερμά καπναέρια σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι αεριαυλοί της εγκατάστασης με βάση τους κανονισμούς είναι από υλικό χάλυβα άνευ ραφής St 35.8 με εξωτερική διάμετρο  $d_{αε\rho}=88,9mm$  και πάχος  $\delta=3,6mm$ .

Για τον υπολογισμό του αριθμού των αεριαυλών στις διαδρομές που ακολουθούν τα καπναέρια είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ταχύτητα των καπναερίων και την παροχή τους.

### 1<sup>η</sup> διαδρομή (φλογοσωλήνας)

Για την πρώτη διαδρομή έχουμε γνωστό ότι η πραγματική παροχή των καπναερίων είναι ίση με:

$$Q_1 = 9,80m^3/s$$

και η εσωτερική διάμετρος του φλογοσωλήνα είναι:

$$d_{\varepsilon\sigma,\varphi\lambda}=d_{\varepsilon\xi,\varphi\lambda}-2\cdot s_{\varphi\lambda}=1080^{\text{mm}}-2\cdot 17^{\text{mm}}=1046\text{mm}$$

Για την παροχή ενός ρευστού ισχύει επίσης ο γνωστός τύπος:

$$Q = u \cdot A \quad (32)$$

όπου  $Q$  η παροχή του ρευστού σε  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $u$  η ταχύτητα του ρευστού σε  $\text{m/s}$  και  $A$  το εμβαδόν της διατομής του αγωγού σε  $\text{m}^2$ .

Βάσει της παραπάνω σχέσης μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα των καπναερίων μέσα στο φλογοσωλήνα ως εξής:

$$u_I = \frac{Q_1}{A_1} \quad (33)$$

όπου το εμβαδόν της διατομής του αγωγού ισούται με:

$$A_I = \frac{\rho \cdot d_{\varepsilon\sigma,\varphi\lambda}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,046^2}{4} = 0,86\text{m}^2$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (33) βρίσκουμε ότι η ταχύτητα των καπναερίων είναι ίση με:

$$u_I = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{9,80^{\text{m}^3/\text{s}}}{0,86^{\text{m}^2}} = 11,4\text{m/s}$$

### 2<sup>η</sup> διαδρομή(αεριαυλοί που οδηγούν τα καπναέρια προς τα εμπρός)

Για τον υπολογισμό των αριθμών των αεριαυλών πρέπει αρχικά να υπολογίσω το εμβαδόν της διατομής μιας ομάδας αεριαυλών. Αυτό πραγματοποιείται με βάση την σχέση (32), επομένως έχουμε:

$$Q_2 = u_2 \cdot A_2$$

Από την πράξη γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα των καπναερίων στη δεύτερη διαδρομή είναι ίση με:

$$u_2=10\text{m/s}$$

Επίσης η πραγματική παροχή των καπναερίων για τη δεύτερη διαδρομή είναι ίση με:

$$Q_2=7,65\text{m}^3/\text{s}$$

Άρα το εμβαδόν της διατομής μιας ομάδας αεριαυλών υπολογίζεται:

$$A_2 = \frac{Q_2}{u_2} = \frac{7,65\text{m}^3/\text{s}}{10\text{m/s}} = 0,765\text{m}^2$$

Κατόπιν αυτού γνωρίζοντας την εσωτερική διάμετρο ενός σωλήνα βρίσκουμε:

$$d_{\text{es,aer}}=88,9^{\text{mm}}-2\cdot 3,6^{\text{mm}}=81,7\text{mm} \text{ ή } 0,0817\text{m}$$

$$A_{\text{aer}} = \frac{p \cdot d_{\text{es,aer}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0817^2}{4} = 0,0052\text{m}^2$$

Άρα ο αριθμός των αεριαυλών για την δεύτερη διαδρομή είναι ίσος με:

$$A_{\text{ερ.2}} = \frac{A_2}{A_{\text{aer}}} = \frac{0,765\text{m}^2}{0,0052\text{m}^2} = 147,1 \text{ σωλήνες}$$

Για να έχουμε ομαλή κυκλοφορία του νερού γύρω από τους αεριαυλούς, θα τοποθετήσουμε 150 σωλήνες.

### 3<sup>η</sup> διαδρομή(αεριαυλοί που οδηγούν τα καπναέρια προς τα πίσω)

Επίσης και εδώ για τον υπολογισμό των αριθμών των αεριαυλών πρέπει αρχικά να υπολογίσω το εμβαδόν της διατομής μιας ομάδας αεριαυλών. Αυτό πραγματοποιείται με βάση την σχέση (32), επομένως έχουμε:



$$Q_3 = u_3 \cdot A_3$$

Από την πράξη γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα των καπναερίων στη τρίτη διαδρομή είναι ίση με:

$$u_3 = 10 \text{ m/s}$$

Άρα η πραγματική παροχή των καπναερίων για τη τρίτη διαδρομή είναι ίση με:

$$Q_3 = 4,80 \text{ m}^3/\text{s}$$

Άρα το εμβαδόν της διατομής μιας ομάδας αεριαυλών υπολογίζεται:

$$A_3 = \frac{Q_3}{u_3} = \frac{4,80 \text{ m}^3/\text{s}}{10 \text{ m/s}} = 0,480 \text{ m}^2$$

Το εμβαδόν της εσωτερικής διατομής ενός σωλήνα από προηγούμενο υπολογισμό είναι:

$$A_{aer} = 0,0052 \text{ m}^2$$

Άρα ο αριθμός των αεριαυλών για την τρίτη διαδρομή είναι ίσος με:

$$A_{ερ.3} = \frac{A_3}{A_{aer}} = \frac{0,480 \text{ m}^2}{0,0052 \text{ m}^2} = 92,3 \text{ σωλήνες}$$

Για να έχουμε ομαλή κυκλοφορία του νερού γύρω από τους αεριαυλούς, θα τοποθετήσουμε 100 σωλήνες.

### 5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΑΥΛΩΝ

Για την εγκατάσταση μας και με βάση τους κανονισμούς οι αεριαυλοί που θα χρησιμοποιηθούν είναι από υλικό χάλυβα άνευ ραφής St 35.8 με εξωτερική διάμετρο  $d_{αερ} = 88,9 \text{ mm}$  και πάχος  $\delta = 3,6 \text{ mm}$ . Επομένως

απαιτείται έλεγχος του πάχους τους για συγκεκριμένη θερμοκρασία λειτουργίας. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου πάχους πραγματοποιείται με βάση των γνωστό τύπο:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \frac{K}{S} \cdot u} + C \quad (34)$$

όπου  $t$  το πάχος του σωλήνα σε mm,  $P$  η πίεση λειτουργίας σε  $N/mm^2$ ,  $D$  η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα σε mm ( $D=d_{αερ}$ ),  $C$  το πρόσθετο πάχος για τις διαβρώσεις σε mm,  $K$  η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού σε  $N/mm^2$ ,  $S$  ο συντελεστής ασφαλείας,  $u$  ο συντελεστής εξασθενήσεως.

Για λόγους ασφαλείας στη κατασκευή μας, η θερμοκρασία λειτουργίας για τους αεριαλούς υπολογίζεται ως εξής:

Η πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα επιτρέπεται να φθάσει μέχρι την τιμή που έχει ρυθμιστεί να ανοίγει το ασφαλιστικό, δηλαδή μέχρι 30% πιο πάνω από την κανονική πίεση λειτουργίας. Αυτό πρακτικά σημαίνει:

$$P = 1,3 \cdot 10^{atü} = 13 \text{bar} = 1,3 \text{N/mm}^2$$

Από τον πίνακα 2.1 (2<sup>ο</sup> Κεφαλαίου) με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου για πίεση λειτουργίας  $P=13\text{bar}$  βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία του κορεσμένου ατμού είναι:

$$T = 191,6138 \text{C}$$

Αυτή η θερμοκρασία επικρατεί στο εξωτερικό μέρος των αυλών δηλαδή στα τοιχώματα όπου βρέχονται από νερό. Όμως εσωτερικά των αυλών διέρχονται καπναέρια σε υψηλή θερμοκρασία η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία στο μέταλλο των αυλών κατά 108C, έτσι η θερμοκρασία υπολογισμού γίνεται:

$$T=191,613^{8C}+10^{8C}=201,6138C$$

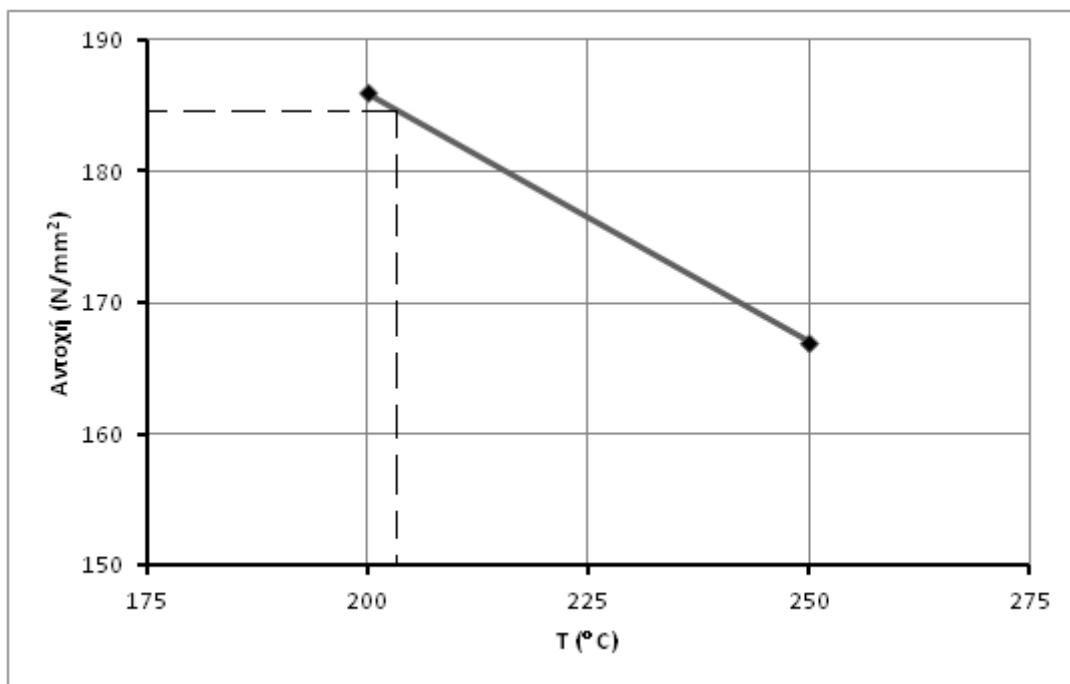
$$\Rightarrow T \approx 2028C$$

Από τον πίνακα 4.2 (4<sup>ο</sup> Κεφαλαίου) με την χαρακτηριστική αντοχή  $K$  χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες του βιβλίου «Στοιχεία Μηχανών Ι» του Κωνσταντίνου Ι. Στεργίου, βρίσκουμε για χάλυβα ΗΠ και θερμοκρασία  $T_a=2508C$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=167N/mm^2$$

και για θερμοκρασία  $T_b=2008C$  χαρακτηριστική αντοχή ίση με:

$$K=186N/mm^2$$



**Σχήμα 21:** Διάγραμμα της αντοχής υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 21) της αντοχής του υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας διακρίνουμε ότι η συνάρτηση είναι φθίνουσα διότι με την άνοδο της θερμοκρασίας η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού μειώνεται οπότε πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία  $T=2028C$  και έχουμε:

$$\frac{x-167}{186-167} = \frac{250-202}{250-200} \Rightarrow x = 185,2$$

$$\text{Άρα } K=185,2\text{N/mm}^2$$

Η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα είναι:

$$d_{\text{αερ}}=88,9\text{mm}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας για σωλήνες άνευ ραφής τίθεται:

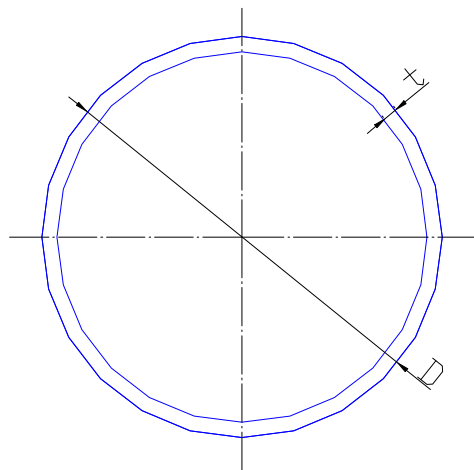
$$S=1,5$$

Επειδή ο σωλήνας είναι άνευ ραφής ο συντελεστής εξασθενήσεως βάσει κανονισμών είναι ίσος με:

$$v=1$$

Η προσαύξηση του πάχους για την αντιμετώπιση των διαβρώσεων με βάση τις προδιαγραφές τίθεται:

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



**Σχημα 22:** Κυλινδρικό τοίχωμα σωλήνα

Άρα αντικαθιστώντας όλα τα στοιχεία στην σχέση (34) βρίσκουμε ότι το απαιτούμενο πάχος των σωλήνων είναι:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \frac{K}{S} \cdot u} + C = \frac{1,4^{N/mm^2} \cdot 88,9^{mm}}{2 \cdot \frac{185,2^{N/mm^2}}{1,5} \cdot 1} + 1^{mm} = 1,51mm$$

$$\Rightarrow t = 1,51mm$$

Ο σωλήνας που επιλέχθηκε αρχικά έχει πάχος 3,6mm, άρα επαρκεί για την συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας.

## 6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΣΩΛΗΝΑ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΡΑΦΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΣ ΣΤΟΜΙΩΝ

### 6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Ο σωλήνας πλήρωσης του τροφοδοτικού χρησιμοποιείται για να τροφοδοτεί τον λέβητα με νερό τις στιγμές όπου η στάθμη του νερού κατεβαίνει αρκετά. Ο υπολογισμός της διαμέτρου του σωλήνα πληρώσεως γίνεται με βάση τον γνωστό τύπο:

$$d = 594 \cdot \sqrt{\left(m \cdot \frac{V''}{u}\right)} \quad (35)$$

όπου  $d$  η διάμετρος του σωλήνα σε mm,  $m$  η παροχή του ρευστού σε t/h,  $V''$  ο ειδικός όγκος του ρευστού σε  $\text{m}^3/\text{kg}$ ,  $u$  η ταχύτητα του ρευστού σε m/s.

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου του σωλήνα γνωρίζουμε από την πράξη ότι η απώλεια νερού που οφείλεται στην στρατσώνα είναι 15%. Η στρατσώνα οφείλεται στην κατά διαστήματα ή συνεχή αποχέτευση νερού από το τύμπανο του ατμολέβητα με σκοπό την μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων. Έτσι για την απώλεια αυτή, το νερό το οποίο θα πρέπει να διοχετεύσουμε στο τύμπανο πρέπει να είναι:

$$1,15 \cdot D = 1,15 \cdot 8^{\text{t/h}} = 9,2^{\text{t/h}}$$

Στη συνέχεια βάσει κανονισμών η παροχή του νερού προσαυξάνεται κατά 25% για ταχεία αναπλήρωση του νερού στο τύμπανο οπότε γίνεται:

$$\dot{m} = 1,25 \cdot 9,2^{t/h} = 11,5 t/h$$

Η ταχύτητα του νερού μέσα στο σωλήνα πρέπει να είναι ίση με:

$$u = 2,5 m/s$$

Επειδή το νερό είναι θερμό, ο ειδικός του όγκος είναι μεγαλύτερος της μονάδος οπότε από τον πίνακα 3.1 (3<sup>ο</sup> Κεφαλαίου) με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου γνωρίζοντας την θερμοκρασία του νερού τροφοδοτήσεως από την πράξη ίση με  $T_w = 102,8^\circ C$  βρίσκουμε ότι ο ειδικός όγκος του κορεσμένου νερού είναι:

$$V'' = 0,00104503 m^3/kg$$

Αντικαθιστώντας όλα τα γνωστά μεγέθη στην σχέση (35) βρίσκω ότι η διάμετρος του σωλήνα πλήρωσεως τροφοδοτικού νερού είναι:

$$d = 594 \cdot \sqrt{\left( \dot{m} \cdot \frac{V''}{u} \right)} = 594 \cdot \sqrt{\left( 11,5^{t/h} \cdot \frac{0,00104503^{m^3/kg}}{2,5^{m/s}} \right)} = 41,2 mm$$

$$\Rightarrow d = d_{tr} = 41,2 mm$$

Με βάση το αποτέλεσμα του υπολογισμού και τις προδιαγραφές ο σωλήνας πλήρωσης του τροφοδοτικού νερού που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι άνευ ραφής του τύπου DN 50 με διάμετρο  $60,3^{\Phi} mm$  και πάχος  $2,9 mm$ .

## 6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ

Ο ατμός που παράγεται και εξέρχεται από τον λέβητα είναι και αυτός σε κατάσταση κορεσμού. Έτσι ο υπολογισμός της διαμέτρου του σωλήνα

του ατμού πραγματοποιείται βάσει του ίδιου τύπου του προηγούμενου ερωτήματος, όπου είναι:

$$d = 594 \cdot \sqrt{\left(m \cdot \frac{V''}{u}\right)}$$

Η παροχή του ατμού είναι δεδομένη και ίση με:

$$\dot{m} = 8 \text{ t/h}$$

Η ταχύτητα του κορεσμένου ατμού μέσα στο σωλήνα πρέπει να είναι ίση με:

$$u = 20 \text{ m/s}$$

Από το πίνακα 2.1 (2<sup>ο</sup> Κεφαλαίου) με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου για πίεση λειτουργίας  $P=11\text{bar}$  βρίσκουμε ότι ο ειδικός όγκος του κορεσμένου ατμού είναι:

$$V'' = 0,177436 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Αντικαθιστώντας επομένως όλα τα γνωστά μεγέθη βρίσκουμε ότι η διάμετρος του σωλήνα του ατμού είναι:

$$d = 594 \cdot \sqrt{\left(m \cdot \frac{V''}{u}\right)} = 594 \cdot \sqrt{\left(8^{t/h} \cdot \frac{0,177436 \text{ m}^3/\text{kg}}{20 \text{ m/s}}\right)} = 158,2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow d = d_{at} = 158,2 \text{ mm}$$

Με βάση το αποτέλεσμα του υπολογισμού και τις προδιαγραφές ο σωλήνας για την μεταφορά του ατμού που θα χρησιμοποιηθεί, θα είναι άνευ ραφής του τύπου DN 200 με διάμετρο  $219,1^{\Phi} \text{ mm}$  και πάχος  $5,9 \text{ mm}$ . (Σχήμα 23)





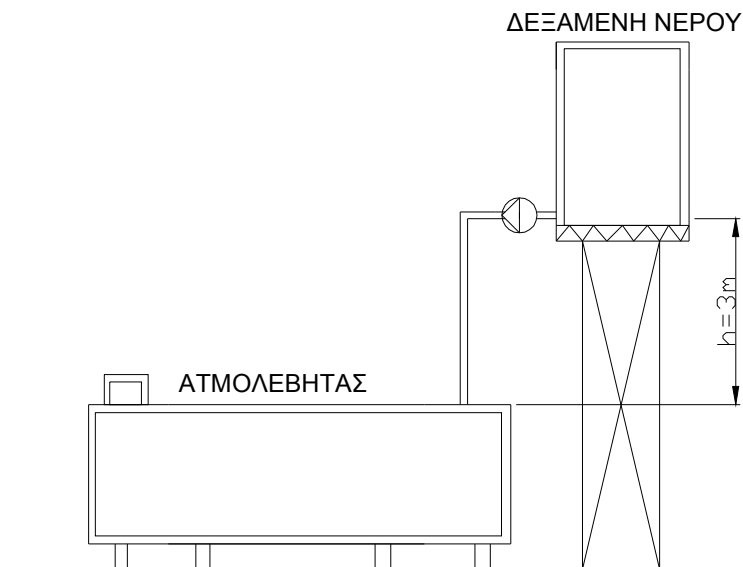
**Σχήμα 23:** Σωλήνες άνευ ραφής DN32, DN40, DN50, DN200. (Εικόνα από διαδίκτυο)

### 6.3 ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

Η αντλία της εγκατάστασης μας πρέπει να είναι ικανή να τροφοδοτεί τον ατμολέβητα με νερό καθ'όλη τη διάρκεια της λειτουργίας. Οι προδιαγραφές που απαιτούνται για τον υπολογισμό του μεγέθους της αντλίας για να έχουμε σωστή λειτουργία και ατμοπαραγωγή είναι:

Για το λόγο ότι η δεξαμενή του νερού βρίσκεται 3 μέτρα υψηλότερα από το ανώτερο σημείου του τυμπάνου του ατμολέβητα, προσφέρεται λόγω στατικού ύψους πίεση ίση με  $3\text{mH}_2\text{O}$ . (Σχήμα 24). Επίσης η πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα γνωρίζουμε ότι είναι  $P=10\text{atü}$ . Οπότε το απαιτούμενο μανομετρικό της αντλίας της εγκατάστασης θα πρέπει να είναι ίσο με:

$$H=10\text{atü} - 3\text{mH}_2\text{O}=10 \cdot 10\text{mH}_2\text{O}-3\text{mH}_2\text{O}=97\text{mH}_2\text{O}$$



**Σχήμα 24:** Σχηματική διάταξη θέσης δεξαμενής νερού και ατμολέβητα

Ø Η παροχή του νερού έχει υπολογισθεί από προηγούμενο ερώτημα και μαζί με τις απώλειες πρέπει να είναι  $m=11,5\text{t/h}$ .

Ø Η απόδοση της αντλίας βάσει κανονισμών πρέπει να είναι ικανοποιητική, οπότε λαμβάνεται ίση με  $\eta=80\%$ .

Μετατρέπουμε την μαζική παροχή σε ογκομετρική παροχή ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) για την διευκόλυνση των υπολογισμών και έχουμε:

Για την μαζική παροχή ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$\dot{m} = r \cdot u \cdot A \quad (\text{i})$$

Ακόμα ισχύει ότι η ογκομετρική παροχή είναι ίση με:

$$Q = u \cdot A \quad (\text{ii})$$

Αντικαθιστώντας την σχέση (ii) στην σχέση (i) έχουμε:

$$\dot{m} = r \cdot Q \quad (\text{iii})$$

Η πυκνότητα του θερμού νερού που μελετούμε είναι διαφορετική από την πυκνότητα του νερού που βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου. Επομένως από το πίνακα 3.1 (3<sup>ο</sup> Κεφαλαίου) με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες νερού ατμού σε κατάσταση κορεσμού του παραρτήματος του βιβλίου «Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί» του Ανδρέα Γιαννόπουλου γνωρίζοντας την θερμοκρασία του νερού τροφοδοτήσεως από την πράξη ίση με  $T_w = 1028\text{C}$ , παρατηρούμε ότι ο ειδικός όγκος του κορεσμένου νερού είναι:

$$V'' = 0,00104503 \text{m}^3/\text{kg}$$

και ισχύει ότι:

$$r'' = \frac{1}{V''} = \frac{1}{0,00104503 \text{m}^3/\text{kg}} = 956,9 \text{kg} / \text{m}^3$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (iii) βρίσκω ότι η ογκομετρική παροχή του νερού είναι:

$$\dot{m} = r \cdot Q \Rightarrow Q = \frac{\dot{m}}{r} = \frac{11500 \text{kg} / \text{h}}{956,9 \text{kg} / \text{m}^3} = 12 \text{m}^3 / \text{h}$$

$$Q = 12 \text{m}^3 / \text{h}$$

Κατόπιν αυτού υπολογίζουμε την ισχύ του κινητήρα με βάση την απορροφούμενη ισχύ της αντλίας θέτοντας μια προσαύξηση 5% για υπερφορτίσεις. Με την εφαρμογή του τύπου για την ισχύ  $N$  σε (KW) βρίσκουμε:

$$N = 1,05 \cdot \frac{Q \cdot H}{367 \cdot h} = 1,05 \cdot \frac{12 \text{m}^3 / \text{h} \cdot 97 \text{mH}_2\text{O}}{367 \cdot 0,80} = 4,16 \text{KW}$$

## 6.4 ΠΑΧΟΣ ΡΑΦΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΣ ΣΤΟΜΙΩΝ

Ο σωλήνας πλήρώσεως του τροφοδοτικού νερού καθώς και ο σωλήνας του ατμού συνδέονται με τον ατμολέβητα μέσω των ειδικών στομιών που τοποθετούνται στο επάνω μέρος του ατμολέβητα. Έτσι είναι απαραίτητος

ο υπολογισμός του πάχους της ραφής των στομίων που θα συγκολληθούν στο επάνω μέρος του κυλινδρικού τοιχώματος του ατμολέβητα.

Στόμιο του σωλήνα πλήρωσης τροφοδοτικού νερού

Για τον σωλήνα πλήρωσης του τροφοδοτικού νερού γνωρίζουμε ότι είναι άνευ ραφής τύπου DN50 με εξωτερική διάμετρο:

$$D_{εξ}=60,3\text{mm}$$

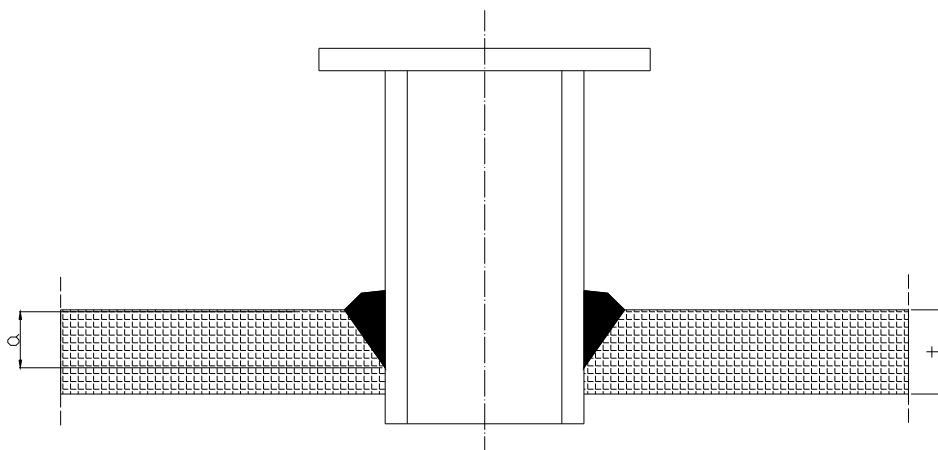
και πάχος τοιχώματος:

$$\delta=2,9\text{mm}$$

Η εσωτερική του διάμετρος είναι:

$$D_{ες}=D_{εξ} - 2 \cdot \delta = 60,3^{\text{mm}} - 2 \cdot 2,9^{\text{mm}} = 54,5\text{mm}$$

Ο τύπος της ραφής συγκολλήσεως των στομίων είναι εξωραφή HV και το πάχος της ραφής είναι ίσο με το πραγματοποιούμενο βάθος της ραφής εφόσον δεν είναι δυνατή η συγκόλληση της ρίζα από το πίσω μέρος. Βάσει κανονισμών, το πάχος της ραφής συγκολλήσεως, σωλήνων ή αυλών γενικά επί διαφόρων τοιχωμάτων, επίπεδων ή κυλινδρικών, ή και πυθμένων, πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η συνολική επιφάνεια της ραφής να είναι κατά 25% μεγαλύτερη από την διατομή του σωλήνα, προκειμένου να αντέχει η συγκόλληση. (Σχήμα 25)



**Σχήμα 25:** Σχηματική διάταξη πάχους ραφής του στομίου το λέβητα

Το πάχος τη ραφής της συγκόλλησης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο ως εξής:

$$p \cdot d_{ex} \cdot a = 1,25 \cdot \frac{p \cdot (d_{ex}^2 - d_{es}^2)}{4} \quad (36)$$

Λύνοντας ως προς τα  $a$  και αντικαθιστώντας όλα τα γνωστά μεγέθη στη σχέση (36), έχουμε:

$$a = \frac{1,25 \cdot (d_{ex}^2 - d_{es}^2)}{4 \cdot d_{ex}} = \frac{1,25 \cdot (60,3^2 - 54,5^2) \text{ mm}^2}{4 \cdot 60,3 \text{ mm}} = 3,45$$

$$\Rightarrow a = a_1 \approx 4 \text{ mm}$$

Το υπολογισμένο πάχος του στομίου του σωλήνας πλήρωσης του τροφοδοτικού νερού είναι μικρότερο από το πάχος του τυμπάνου του φλογοσωλήνα οπότε μπορεί να πραγματοποιηθεί η ραφή με βάθος που να χωράει στο πάχος του ελάσματος.

#### Στόμιο του σωλήνα του εξερχόμενου ατμού

Η συγκόλληση του στομίου αυτού θα γίνει όπως και η προηγούμενη, δηλαδή κατά το Σχήμα 18. Για τον σωλήνα του εξερχόμενου γνωρίζουμε ότι είναι χαλυβδοσωλήνας άνευ ραφής τύπου DN200 με εξωτερική διάμετρο:

$$D_{εξ} = 219,1 \text{ mm}$$

και πάχος τοιχώματος:

$$\delta = 5,9 \text{ mm}$$

Η εσωτερική του διάμετρος είναι:

$$D_{εσ} = D_{εξ} - 2 \cdot \delta = 219,1 \text{ mm} - 2 \cdot 5,9 \text{ mm} = 207,3 \text{ mm}$$

Το πάχος τη ραφής της συγκόλλησης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο ως εξής:

$$a = \frac{1,25 \cdot (d_{ex}^2 - d_{es}^2)}{4 \cdot d_{ex}} = \frac{1,25 \cdot (219,1^2 - 207,3^2) \text{ mm}^2}{4 \cdot 219,1 \text{ mm}} = 7,17 \text{ mm}$$

$$a = a_2 \approx 8 \text{ mm}$$

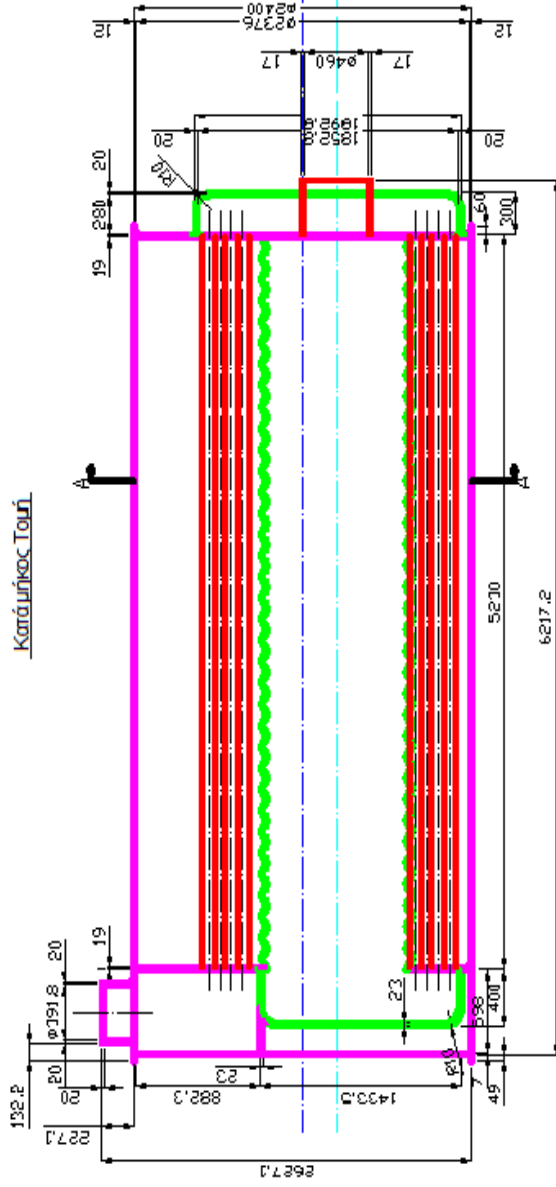
Το υπολογισμένο πάχος του στομίου του σωλήνα του εξερχόμενου από τον λέβητα ατμού είναι μικρότερο από το πάχος του τυμπάνου του φλογοσωλήνα οπότε μπορεί να πραγματοποιηθεί η ραφή με βάθος που να χωράει στο πάχος του ελάσματος.

## **ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ ΤΗΣ ΟΙΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ**

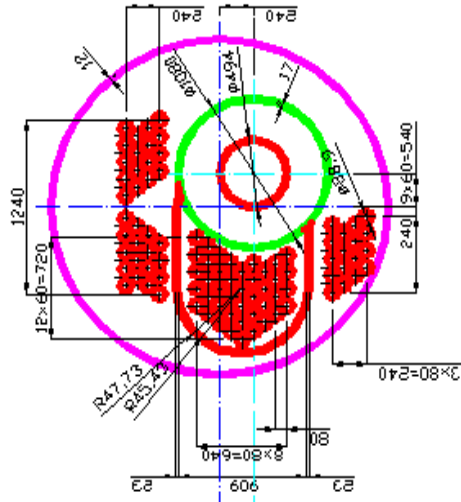
Στο παρακάτω μηχανολογικό σχέδιο παρουσιάζεται ο ατμολέβητας της κατασκευής μας σε κατά μήκος τομή και σε τομή του τυμπάνου του λέβητα. Παρουσιάζονται τα παρακάτω:

- Όλα τα πάχη των ελασμάτων που υπολογίσαμε.
- Οι αεριαυλοί και οι διαδρομές που ακολουθούν.
- Η θέση του φλογοσωλήνα καθώς και του καυστήρα της εγκατάστασης μας.
- Η καπνοδόχος του ατμολέβητα.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των αεριαυλών.
- Οι διαστάσεις όλες του ατμολέβητα (μήκος, πλάτος, ύψος).
- Η διάμετρος του τυμπάνου του λέβητα.
- Η διάμετρος του φλογοσωλήνα και των αεριαυλών.
- Η θέση του καυστήρα στον ατμολέβητα.

Κατάλυτικός Τουβί.



Τουβί ΑΑ.



Μησδωμης Επισημης	Μησδ Υπερσφωμης	Βασιλιος Γουρδουμης	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ
Κωδικος 1.10		Ατμοεξέλιπας με φλογουαλινα	Υλικο
Αρ.Σχεδίου			Βασικς



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πρώτα στάδια της πτυχιακής εργασίας αναφέρονται όλα τα βασικά δεδομένα που απαιτούνται για την διευκόλυνση των πράξεων. Όλα τα δεδομένα στοιχεία είτε έχουν υπολογισθεί από την πράξη είτε δίδονται βάσει των προδιαγραφών.

Κατόπιν αναπτύσσονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για το μέγεθος του ατμοθαλάμου και την θέση όπου πρέπει να τοποθετηθεί ο φλογοσωλήνας.

Στη συνέχεια μελετάται η στοιχειομετρία του καυσίμου που καταναλώνει ο καυστήρας της συγκεκριμένης κατασκευής καθώς και οι διαστάσεις της φλόγας που αναπτύσσεται μέσα στα τοιχώματα του φλογοσωλήνα.

Στο επόμενο στάδιο της πτυχιακής γίνεται λεπτομερής ανάλυση του υπολογισμού της μέγιστης επιτρεπτής πίεσης που δύναται να αντέξει ο φλογοσωλήνας και των υπολογισμών των παχών όλων των ελασμάτων για τα τοιχώματα του λέβητα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι λογικά και ικανοποιούν τις προδιαγραφές για ασφαλή και άρτια λειτουργία του ατμολέβητα.

Επίσης υπολογίζεται η πραγματική παροχή των καπναερίων και με βάση αυτήν υπολογίζεται ο αριθμός των αεριαυλών σε κάθε διαδρομή και γίνεται έλεγχος αντοχής αυτών.

Το τελευταίο στάδιο της πτυχιακής αναφέρεται στην μελέτη της διαμέτρου του σωλήνα πλήρωσης του τροφοδοτικού νερού και του σωλήνα μεταφοράς του εξερχόμενου ατμού από τον λέβητα καθώς και στο μέγεθος της αντλίας. Τέλος παρουσιάζεται σε μηχανολογικό σχέδιο ο ατμολέβητας σε δύο τομές για την καλύτερη κατανόηση των υπολογισμών και των διαστάσεων του ατμολέβητα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαννόπουλος Χρ. Ανδρέας, *Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Πάτρα, 2011.
2. Γιαννόπουλος Χρ. Ανδρέας, *Σημειώσεις Ατμολέβητες*, Πάτρα, 2011.
3. Λέφας Χ. Κωνσταντίνος, *Εστίες και Ατμοπαραγωγοί*, Πάτρα, 1982.
4. Λέφας Χ. Κωνσταντίνος, *Θεωρία Τεχνική και Οικονομία της Θερμότητας*, Πάτρα, 1973.
5. Παπαγεωργίου Ν., *Ατμοπαραγωγοί I,II*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1991.
6. Στεργίου Κ. Ιωάννης, *Στοιχεία Μηχανών I*, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα, 2003.
7. Κορωνάκης Περικλής, *Μηχανική Ρευστών*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2009.
8. Τσιλιγγίρης Παναγιώτης, *Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2007.
9. Jones R.V. ‘‘*The plain Story of James Watt: The Wilkins Lecture 1969*’’, 1969.
10. [http://www.glaunach.com/pdf/5\\_Material\\_& Codes.pdf](http://www.glaunach.com/pdf/5_Material_& Codes.pdf)
11. <http://www.tubesolution.com/standard/DIN/DIN%2017175.pdf>

12. [http://en.wikipedia.org/wiki/Nominal\\_Pipe\\_Size](http://en.wikipedia.org/wiki/Nominal_Pipe_Size)
13. <http://www.temak.gr/site/docs/stratswna.pdf>
14. [http://www.hannagreece.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=72:2009-02-16-12-46-48&catid=88:a&Itemid=53](http://www.hannagreece.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=72:2009-02-16-12-46-48&catid=88:a&Itemid=53)
15. <http://www.316l-stainless.com/boiler-steels/DIN-17155-III-steel.html>
16. <http://www.steel-plate-sheet.com/Steel-plate/DIN/DIN-17155-17-Mn-4.html>
17. <http://www.sunnysteel.com/din-17175-jis.php>
18. [http://konstantinosstergiou.blogspot.gr/2011/11/blog-post\\_8140.html](http://konstantinosstergiou.blogspot.gr/2011/11/blog-post_8140.html)
19. <http://www.ststeelpipe.com/DN15-DN20-DN25-DN32-DN40-DN50-DN65-seamless-pipe.html>