

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του φοιτητή

ΛΑΤΣΕΝΕΡΕ ΣΠΥΡΟΥ

Α.Ε.Μ.: 53

**«Η σημασία της καλής λειτουργίας του κυκλώματος του
νερού ψύξης στη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού /
Μελέτη Περίπτωσης του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (ΛΚΠ -Α)»**

Επιβλέπων Καθηγητής: Ι. Μπάρτζης

ΚΟΖΑΝΗ 2004

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΛΑΤΣΕΝΕΡΕ ΣΤΥΡΟΥ

Α.Ε.Μ.: 53

**«Η σημασία της καλής λειτουργίας του κυκλώματος του
νερού ψύξης στη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού /
Μελέτη Περίπτωσης του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (ΛΚΠ -Α)»**

Επιβλέπων Καθηγητής: Ι. Μπάρτζης

ΚΟΖΑΝΗ 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια των σπουδών στο Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας μου ανατέθηκε η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Η σημασία της καλής λειτουργίας του κυκλώματος του νερού ψύξης στη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού / Μελέτη Περίπτωσης του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (ΛΚΤ -Α)». Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής θα ήταν κατώτερο των προσδοκιών στην περίπτωση που δεν θα υπήρχε η στήριξη από διάφορους ανθρώπους. Για αυτό στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας κύριο Ι. Μπάρτζη, τον κ. Α. Λογοθέτη, προϊστάμενο του ΑΗΣ τέως ΛΙΠΤΟΛ, και τον κύριο Ι. Νικολαΐδη, προϊστάμενο στη Μονάδα Ξήρανσης λιγνίτη του ΑΗΣ ΛΚΤ -Α. Ειδικότερα χωρίς την βοήθεια του κύριου Νικολαΐδη η εκπόνηση της εργασίας αυτής στα δεδομένα χρονικά πλαίσια ίσως και να ήταν ανέφικτη. Ο χρόνος που οι άνθρωποι αυτοί αφιέρωσαν στην εργασία αυτή ήταν καθοριστικός και πολύ σημαντικός για την ολοκλήρωση της.

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.: 14.7.8.....
Ημερομηνία: 25.5.05.....

Η σημασία της καλής λειτουργίας του κυκλώματος του νερού ψύξης στη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού / Μελέτη

Περίπτωσης του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (ΛΚΤΠ -Α)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί είναι αναμφισβήτητα οι μεγαλύτεροι καταναλωτές βιομηχανικού νερού. Το νερό είναι το μέσο παραγωγής ενέργειας (κύκλωμα νερού λεβήτων) αλλά και απαγωγής του μεγαλύτερου ποσού της θερμότητας (κύκλωμα νερού ψύξης). Η κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων νερού δεν μπορεί παρά να έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Σήμερα, η κατανάλωση ενέργειας και νερού αντιμετωπίζεται ενιαία αφού το νερό πέραν της αξίας του ως απαραίτητο συστατικό της ζωής, απαιτεί ενέργεια για την άντληση, τον αρχικό καθαρισμό και διακίνηση του αλλά και την επεξεργασία του στην τελευταία φάση της βιομηχανικής χρήσης του προκειμένου να επιστραφεί στους φυσικούς αποδέκτες.

Στην ηλεκτροπαραγωγή, η σημασία του νερού έχει ακόμα μεγαλύτερη βαρύτητα διότι οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες είναι τεράστιες σε σχέση με άλλες βιομηχανικές εφαρμογές (κυρίως χημικές εγκαταστάσεις) και η ποιότητα του έχει άμεση σχέση με τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες. Το νερό των πύργων ψύξης δεν επηρεάζει μόνο το κύκλωμα και τις ανάγκες του ψυκτικού νερού, αλλά έχει άμεσες επιπτώσεις στην ηλεκτροπαραγωγή αφού έρχεται σε έμμεση επαφή με την καρδιά του θερμικού κύκλου, τον στρόβιλο.

Στην παρακάτω εργασία γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής των προβλημάτων που παρουσιάζουν τα κυκλώματα ψύξης με νερό και των λύσεων που σε αυτά εφαρμόζονται για την αποδοτικότερη λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Παράλληλα πραγματοποιούνται συγκεκριμένες προσομοιώσεις τόσο για το σχεδιασμό ενός πύργου ψύξης ατμοηλεκτρικού σταθμού όσο και για το συμπυκνωτή αυτού. Μάλιστα τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται σε μια μελέτη περίπτωσης για τον ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ με σκοπό την ανάδειξη των προβλημάτων της μονάδας αυτής αλλά και των μεθόδων χάρη στις οποίες αυτά ξεπερνιούνται. Πιο συγκεκριμένα μέσα από την εργασία αυτή αναδεικνύεται ότι ο πύργος, όπως συμβαίνει συνήθως στην βιομηχανία, υπερδιστασιολογημένος και τα μεγάλα και σοβαρά προβλήματα έχουν να κάνουν με τον συμπυκνωτή που έχει εξαιρετικά μειωμένη απόδοση στην λειτουργία του, λόγω επικαθίσεων αλάτων αλλά και ιλύος από λιγνιτόσκονη και τέφρα. Μάλιστα, ακόμα και όταν η μονάδα εργάζεται αναγκαστικά σε μικρότερο φορτίο, γίνεται μια προσπάθεια εύρεσης του νέου βέλτιστου σημείου λειτουργίας με βάση τα μοντέλα προσομοίωσης και πραγματικά δεδομένα από το σταθμό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΤΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΝΕΡΟ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	3
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	6
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ.....	8
2.3 ΤΙ ΥΠΕΙΣΣΕΡΧΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΨΥΚΤΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ.....	10
2.4 ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΤΟ ΝΕΡΟ ΣΑΝ ΨΥΚΤΙΚΟ ΜΕΣΟ.....	10
2.5 ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	11
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	12
3.1 ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΑΥΤΑ ΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΝΕΡΟ.....	16
4. ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΝΕΡΟ.....	19
4.1 ΠΟΙΕΣ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	19
4.1.1 ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	19
4.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ «ΜΙΑ ΚΑΙ ΕΞΩ».....	20
4.1.3 ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	21
5. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΥΚΛΟΥ ΨΥΞΗΣ: ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ.....	25
5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	25
5.2 ΥΓΡΟΙ ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ.....	26
5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	26
5.2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΥΛΙΚΩΝ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	29
5.2.2.1 ΠΛΗΡΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....	29
5.2.2.2 ΠΛΗΡΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΤΥΠΟΥ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ.....	31
5.2.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΠΥΡΓΟ ΨΥΞΗΣ.....	33
5.3 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ.....	34
5.4 ΞΗΡΟΙ ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ.....	38
5.4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	38
5.4.2 ΑΜΕΣΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΞΗΡΗΣ ΨΥΞΗΣ.....	39
5.4.3 ΕΜΜΕΣΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΞΗΡΗΣ ΨΥΞΗΣ (ΣΥΣΤΗΜΑ HELLER).....	42
5.5 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΠΥΡΓΟΙ.....	48
5.6 ΦΙΛΤΡΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ & ΣΙΤΕΣ.....	49
6. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΥΚΛΟΥ ΨΥΞΗΣ: ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ.....	53
6.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΜΕ ΑΠΟ ΕΝΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ.....	54
6.2 ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ Ο ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ.....	55

6.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	56
6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΩΝ.....	57
6.4.1 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ.....	57
6.4.1.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ.....	59
6.4.2 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗΣ.....	59
6.4.3 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ.....	60
7. ΨΥΚΤΙΚΟ ΝΕΡΟ: ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥΣ.....	62
7.1 ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	63
7.1.1 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	64
7.1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	65
7.1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	67
7.1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΛΗΨΗΣ/ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	69
7.1.5 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	69
7.1.5.1 ΑΝΟΔΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	69
7.1.5.2 ΚΑΘΟΔΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	70
7.1.5.3 ΓΕΝΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	70
7.1.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.....	71
7.2 ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ (SCALE).....	72
7.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ.....	72
7.2.2 ΠΩΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ.....	73
7.2.3 ΤΡΟΠΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ.....	75
7.2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ.....	75
7.3 ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (FOULING).....	77
7.3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	77
7.3.2 ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑ ΨΥΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	78
7.3.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ.....	80
7.3.4 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ.....	81
7.4 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ.....	82
7.4.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ.....	82
7.4.2 Η ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΙΛΥΣ.....	84
7.4.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΛΟΥΝ ΣΤΗ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ.....	86

7.4.4	ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ	ΙΛΥΣ	ΚΑΙ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ	
ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ.....					86
7.4.5	ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ	ΙΛΥΣ	ΚΑΙ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ	
ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ.....					87
7.4.6	ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ	ΙΛΥΣ	ΚΑΙ	ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	87
7.4.7	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΠΟΥ	ΠΡΕΠΕΙ	ΝΑ	ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ
ΥΠΟΨΗ	ΚΑΤΑ	ΤΟΝ	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ	ΕΛΕΓΧΟΥ	ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ
ΜΟΛΥΝΣΗΣ.....					87
7.4.8	ΕΠΙΛΟΓΗ	ΜΕΘΟΔΩΝ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	ΤΗΣ	
ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ	ΜΟΛΥΝΣΗΣ.....				88
7.4.8.1	ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ	ΒΙΟΚΤΟΝΕΣ	ΟΥΣΙΕΣ.....		89
7.4.8.2	ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ	ΒΙΟΚΤΟΝΕΣ	ΟΥΣΙΕΣ.....		90
7.4.8.3	ΒΙΟΔΙΑΣΤΑΣΤΕΣ.....				90
8.	ΤΟ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ	ΚΕΝΤΡΟ	ΔΥΤΙΚΗΣ	ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ.....
					91
8.1	ΤΟ	ΣΥΣΤΗΜΑ	ΝΕΡΟΥ	ΨΥΞΗΣ	ΤΩΝ
ΣΤΑΘΜΩΝ.....					ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ
					92
8.2	Η	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΤΟΥ	ΑΗΣ	ΛΚΠ-Α
(ΤΕΩΣ	ΛΙΠΤΟΛ).....				94
8.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΗΣ	ΜΟΝΑΔΑΣ.....		96
8.4	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΤΗΣ	
ΜΟΝΑΔΑΣ -	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ... ..		104
8.5	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	ΒΗΜΑΤΩΝ	-	ΚΙΝΗΣΕΩΝ	ΣΤΗΝ
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ	ΚΑΤΟΙΟΙΟΥ	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....			106
8.6	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	ΝΕΡΟΥ	ΤΗΣ	ΜΟΝΑΔΑΣ	ΤΟΥ
ΑΗΣ	ΛΙΠΤΟΛ.....				114
8.6.1	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ	ΤΟΥ	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	-	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....					115
8.6.2	ΧΡΗΣΗ	ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ	ΝΑΤΡΙΟΥ	ΚΑΙ	ΕΝΕΡΓΟΥ
ΒΡΩΜΙΟΥ.....					115
8.6.3	ΔΙΑΣΤΑΡΤΙΚΕΣ	ΟΥΣΙΕΣ.....			116
8.6.4	ΟΞΥ.....				117
8.6.5	ΑΝΤΙΚΑΘΑΛΩΤΙΚΕΣ	-	ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΕΣ		
ΟΥΣΙΕΣ.....					119
8.7	Η	ΣΗΜΑΣΙΑ	ΤΗΣ	ΣΤΡΑΤΣΩΝΑΣ.....	121
8.8	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	ΑΠΟ	ΤΗ	ΧΡΗΣΗ
ΧΗΜΙΚΩΝ	ΟΥΣΙΩΝ.....				121
8.9	Η	ΣΗΜΑΣΙΑ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ	ΤΟΥ	ΚΕΝΟΥ.....
					122
8.9.1	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	ΤΟΥ	ΠΥΡΓΟΥ	ΨΥΞΗΣ
ΣΤΟΝ	ΑΗΣ	ΛΙΠΤΟΛ.....			129
8.9.2	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	ΤΟΥ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ	
ΣΤΟΝ	ΑΗΣ	ΛΙΠΤΟΛ.....			137

8.10 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ.....	141
8.11 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	141
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1°.....	145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2°.....	148
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3°.....	150

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες απαιτούν τη χρήση ψυκτικού νερού για τις διάφορες διαδικασίες ψύξης. Τα διυλιστήρια, οι πετροχημικές βιομηχανίες, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζουν την αποτελεσματική λειτουργία τους σε ένα μεγάλο βαθμό στο σύστημα ψύξης τους με νερό.

Η ανάγκη για ψύξη προκύπτει από την ανάγκη ρύθμισης των θερμοκρασιών στις διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες προκειμένου οι διαδικασίες αυτές να εκτελεστούν με την βέλτιστη απόδοση. Πέραν τούτου είναι συνήθης πρακτική η ψύξη των προϊόντων μιας διαδικασίας σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος προκειμένου να γίνει η αποθήκευσή τους. Μικρές ποσότητες ψυκτικού νερού είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται στην ψύξη μηχανημάτων για να αποφευχθούν υπερθερμάνσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού, των διαφόρων παρεμβυσμάτων στεγανοποίησης (π.χ. τσιμούχες, σαλαμάστρες κ.λ.π.).

Σε ορισμένες διαδικασίες η ψύξη είναι αναπόσπαστο μέρος της λειτουργίας ενός μηχανολογικού εξαρτήματος και είναι απαραίτητη όσο και η θέρμανση (συνήθως με ατμό χαμηλής πίεσης). Για παράδειγμα η λειτουργία μιας αποστακτικής στήλης απαιτεί ψυκτικό νερό για τον συμπυκνωτή της εγκατάστασης, η λειτουργία ενός αεροσυμπιεστή απαιτεί ψυκτικό νερό για ψύξη του παραγόμενου αέρα υψηλής θερμοκρασίας, η λειτουργία ενός αντιδραστήρα απαιτεί ψυκτικό νερό για την ψύξη των προϊόντων ή την ρύθμιση της υψηλής θερμοκρασίας του μανδύα του αντιδραστήρα.

Το ψυκτικό νερό θεωρείται σαν μια βοηθητική παροχή (utilities) για κάθε μεγάλο εργοστάσιο και συνήθως υπάρχει μια εγκατάσταση ψύξης του νερού σε ξεχωριστό χώρο ώστε να εξυπηρετεί μέσω κάποιου κυκλώματος αγωγών πολλές παραγωγικές διαδικασίες ταυτόχρονα. Άλλες βοηθητικές παροχές μπορεί να χαρακτηριστούν ο ατμός θέρμανσης (από λέβητα), το σύστημα πεπιεσμένου αέρα (από ειδικό συμπιεστή με αεροθυλάκιο), το άζωτο ή το διοξείδιο του άνθρακα εάν χρειάζεται αδρανές αέριο κ.λ.π.

2. ΤΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΝΕΡΟ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η χρήση του ψυκτικού νερού στην ηλεκτροπαραγωγή και ιδιαιτέρως σε έναν θερμικό σταθμό είναι κεφαλαιώδους σημασίας διότι όπως γνωρίζουμε από την θερμοδυναμική, πέραν την θερμής πηγής ή ταμειυτήρα (ατμός υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης), η ηλεκτροπαραγωγή με βάση τον θερμικό κύκλο απαιτεί και την ψυχρή πηγή ή ταμειυτήρα (συμπύκνωση των ατμών που εξέρχονται από τον στρόβιλο) που δεν είναι άλλο από τον συμπυκνωτή. Σύμφωνα με την απόδοση του κύκλου του CARNOT, μας ενδιαφέρει πολύ η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της υψηλής και της χαμηλής θερμοκρασίας να είναι όσον το δυνατόν μεγαλύτερη για να έχουμε όσον το δυνατόν καλύτερη, θεωρητικά «τουλάχιστον», απόδοση.

$$\eta = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}}$$

Για τις συμβατικές μονάδες που λειτουργούν στη Ελλάδα, ως γνωστόν η T_{hot} δεν υπερβαίνει τους 536°C ενώ σαν μέσο όρο (χειμώνα καλοκαίρι) η T_{cold} είναι καλό να μην υπερβαίνει τους 36°C ($\eta = 61,8\%$). Η σταθερή διατήρηση των θερμοκρασιών αυτών στα παραπάνω επίπεδα είναι κύριο μέλημα του μηχανικού λειτουργίας ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού.

Όσον αφορά την T_{hot} , η τιμή της δεν πρέπει να υπερβεί την καθορισμένη από τον κατασκευαστή του λέβητα τιμή διότι θα επέλθει ταχύτερη γήρανση των αυλών του λέβητα με ανυπολόγιστη οικονομική ζημία. Σήμερα η τιμή αυτή μπορεί να φθάσει μέχρι και τους 620°C (υπερκρίσιμος κύκλος) με αποτέλεσμα να αυξηθεί σημαντικά η απόδοση του κύκλου. Φυσικά το κόστος επένδυσης

του λέβητα αυξάνει δραματικά λόγω των υλικών κατασκευής και των παρελκόμενων αυτοματισμών. Σε μια συμβατική μονάδα, αυτό που οφείλουμε να πετύχουμε είναι η συνεχής διατήρησης της θερμοκρασίας των 536°C σε σταθερά επίπεδα. Η καλή κατάσταση του λέβητα (αποφυγή επικαθήσεων στο εσωτερικό και εξωτερικό των αυλών), η ομοιομορφία στην ποιότητα του καυσίμου και η αυτοματοποίηση των ρυθμίσεων πίεσης και παροχής τροφοδοτικού νερού στο λέβητα είναι μόνο λίγοι από τις παραμέτρους της λειτουργίας που πρέπει να ελέγχουμε.

Όσον αφορά την T_{cold} , η τιμή της θα πρέπει να είναι όσον το δυνατόν χαμηλότερη προκειμένου η πίεση εξόδου από τον στρόβιλο να είναι όσον το δυνατόν χαμηλότερη. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται το μέγιστο έργο στον στρόβιλο. Η πίεση εξόδου από τον στρόβιλο έχει άμεση σχέση με την θερμοκρασία του συμπυκνωτή που υποδέχεται τον σχεδόν κεκορεσμένο ατμό από την έξοδο του στρόβιλου (συνήθως η ποιότητα του ατμού στην είσοδο του συμπυκνωτή είναι 90-93%). Συνεπώς όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία των συμπυκνωμάτων στον συμπυκνωτή (T_d) τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγόμενη ισχύς της μονάδας. Η διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας στον συμπυκνωτή έχει να κάνει σε μεγάλο βαθμό από τις θερμοκρασίες εισόδου (T_{in}) και εξόδου (T_{out}) του ψυκτικού νερού από τον συμπυκνωτή. Όπως είναι φυσικό, χαμηλή θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού νερού στον συμπυκνωτή σημαίνει και χαμηλότερη θερμοκρασία συμπύκνωσης, μικρότερη θερμοκρασία εξόδου T_{out} που σημαίνει και μεγαλύτερη ευκολία στην εκ νέου ψύξη του νερού. Έχοντας υπόψη ότι σε μια συμβατική μονάδα των 300 MW συνεχώς οδεύουν στο συμπυκνωτή τεράστιες ποσότητες ατμού (580 τόννοι ατμού/ώρα) το ψυκτικό φορτίο του ψυκτικού νερού είναι τεράστιο ενώ ακόμα πιο μεγάλες είναι οι ποσότητες ψυκτικού νερού που ανακυκλώνονται αλλά και

οι ποσότητες φρέσκου ψυκτικού νερού που πρέπει να εισάγονται στο ψυκτικό κύκλωμα για διάφορους λειτουργικούς λόγους που θα εξετάσουμε αργότερα.

Επίσης πέραν της συμπύκνωσης, το ψυκτικό νερό σε ένα θερμοηλεκτρικό σταθμό εκτελεί και πολλά άλλα δευτερεύοντα καθήκοντα. Στο ατμοστρόβιλο, το ψυκτικό νερό χρησιμεύει στην ψύξη των κάθε είδους ελαίων (όπως για παράδειγμα των ελαίων λίπανσης των εδράνων των στροβίλων) και στην ψύξη του υδρογόνου το οποίο με την σειρά του ψύχει την γεννήτρια. Τα καθήκοντα αυτά μολονότι μικρά είναι αποφασιστικής σημασίας στην λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού διότι εάν η ψύξη δεν είναι επιτυχής η κράτηση του σταθμού ή τουλάχιστον η αισθητή μείωση φορτίου είναι επιβεβλημένη.

Τα συστήματα ψύξης με νερό ελέγχουν τις διάφορες θερμοκρασίες και πιέσεις στα διάφορα συστήματα μεταφέροντας θερμότητα από τα ρευστά των θερμών διεργασιών στο ψυκτικό νερό, το οποίο και απάγει τη θερμότητα μακριά από το σύστημα. Κατά τη διεργασία της ψύξης το ψυκτικό νερό θερμαίνεται και πρέπει είτε να επαναψυχθεί πριν χρησιμοποιηθεί, είτε να αντικατασταθεί με φρέσκο ψυκτικό νερό.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ψυκτικών συστημάτων:

- Ανοιχτά συστήματα επανακυκλοφορίας
- Συστήματα διέλευσης «μια και έξω» (once through systems)
- Κλειστά συστήματα επανακυκλοφορίας

Το ψυκτικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί από μια βιομηχανία ή ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η αποδοτικότητα αυτού, εξαρτώνται άμεσα από τον τύπο της διεργασίας για την οποία

σχεδιάστηκε, τα χαρακτηριστικά του νερού που αναμένεται να χρησιμοποιηθεί, αλλά και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το κύκλωμα του νερού του πύργου ψύξης προϋποθέτει την ύπαρξη ενός πύργου ψύξης για την ψύξη του νερού και τον κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό για σύνδεση των συσκευών που δέχονται το ψυκτικό νερό και το επιστρέφουν στον πύργο ψύξης. Πέραν του πύργου ψύξης, που αποτελεί την καρδιά του κυκλώματος, ο συμπυκνωτής της μονάδας τοποθετημένος αμέσως μετά τον στρόβιλο (ουσιαστικά είναι η συνέχεια του στρόβιλου) δέχεται το ψυκτικό νερό και απομακρύνει ένα τεράστιο θερμικό φορτίο από τον ατμό εξόδου από τον στρόβιλο. Ο συμπυκνωτής λειτουργεί υπό κενώ (περίπου 0,06 bar) και η διατήρηση του κενού οφείλεται στις αντλίες κενού. Το ψυκτικό νερό με την βοήθεια αντλιών (χαμηλής σχετικά πίεσης αλλά τεράστιας παροχής) αναρροφείται από τον πυθμένα του πύργου ψύξης και οδεύει με σχετικά υψηλή πίεση προς τον συμπυκνωτή όπου ψύχει το ατμό εξόδου από τον στρόβιλο καθώς διέρχεται μέσα από του χαλκοσωλήνες του συμπυκνωτή. Ο συμπυκνωτής είναι συνήθως ένας εναλλάκτης κελύφους αυλών με τον ατμό να ευρίσκεται στο κέλυφος και να λούει τους χιλιάδες αυλούς ενώ το ψυκτικό νερό ευρίσκεται εντός των αυλών. Ο εναλλάκτης είναι συνήθως δύο περασμάτων (2-pass). Ο λόγος που το ψυκτικό νερό διαρρέει τους αυλούς έχει να κάνει με την καλύτερη λειτουργικότητα της εγκατάστασης ώστε να είναι δυνατός ο καθαρισμός των χαλκοσωλήνων από τυχόν επικαθίσεις ή αποθέσεις (φερτά υλικά όπως λάσπη, τέφρα,

λιγνιτόσκονη ή ακόμα χειρότερα τις επικαθίσεις ανθρακικών αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου). Ο συμπυκνωτής είναι χωρισμένος σε δύο ανεξάρτητα διαμερίσματα ώστε εάν χρειάζεται, να γίνει καθαρισμός του συμπυκνωτή κατά το ήμισυ καθώς η μονάδα εργάζεται σε χαμηλό φορτίο ώστε να αποφευχθεί γενική κράτηση. Μετά τον καθαρισμό του ενός διαμερίσματος του συμπυκνωτή επαναλαμβάνεται η διαδικασία στο άλλο ήμισυ με το ανοιγοκλείσιμο των κατάλληλων απομονωτικών βανών.

Η ανακυκλοφορία του νερού επιτυγχάνεται με τις αντλίες ανακυκλοφορίας που συνήθως είναι περισσότερες από μια ώστε να υπάρχει πάντα η δυνατότητα λειτουργίας της μονάδας έστω και σε χαμηλό φορτίο σε περίπτωση βλάβης μίας εξ αυτών. Οι αντλίες πρεσάρουν το νερό στον συμπυκνωτή και κατόπιν το ψυκτικό νερό σε αυξημένη θερμοκρασία καταλήγει στο υψηλότερο σημείο του κυκλώματος που ευρίσκεται στον πύργο ψύξης. Από τον πύργο το νερό καταιονίζεται και διασκορπίζεται μέσα στο πληρωτικό υλικό του πύργου. Εκεί έρχεται σε επαφή με το ατμοσφαιρικό αέρα και ψυχωμένο καταλήγει και πάλι στον πυθμένα του πύργου από όπου και πάλι αναρροφάται από τις αντλίες.

Αλλά παρελκόμενα του κυκλώματος του ψυκτικού νερού είναι οι διάφορες βάνες εκκένωσης του συμπυκνωτή και της λεκάνης του πύργου ψύξης όπως επίσης και διαφορές σωληνώσεις προσαγωγής φρέσκου νερού συμπλήρωσης του πύργου (make up water) και απομάκρυνσης κάποιας ποσότητας ψυκτικού νερού (στρατσώνα ή blow down). Η συμπλήρωση φρέσκου αποσκληρυμένου νερού και η απομάκρυνση μικρού μέρους του υπάρχοντος στη λεκάνη ψυκτικού νερού είναι μια συνεχής διαδικασία που ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες που θα αναλυθούν αργότερα. Η συνεχής αποσκληρυση του

συμπληρωματικού νερού απαιτεί εγκατάσταση αποσκλήρυνσης, δηλαδή μείωσης της σκληρότητας του νερού σε χαμηλά επίπεδα, καθώς επίσης και χημικό εργαστήριο για τακτικό έλεγχο των παραμέτρων του νερού. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει μάλιστα on-line ανάλυση των παραμέτρων του νερού όπως αγωγιμότητα και pH ώστε να λαμβάνονται άμεσα διορθωτικές κινήσεις με διαφοροποίηση των παροχών του συμπληρωματικού νερού και της στρατώνας.

Σε σπάνιες περιπτώσεις εξαρτώμενες από την γεωγραφική θέση του ατμοηλεκτρικού σταθμού το κύκλωμα του ψυκτικού νερού είναι πιθανόν να μην είναι ούτε καν ένα κλειστό κύκλωμα επαναχρησιμοποίησης του νερού αλλά ως ψυκτικό νερό να χρησιμοποιείται το νερό από κάποια άλλη πηγή που βρίσκεται κοντά στις εγκαταστάσεις του σταθμού και μάλιστα συνήθως όχι τυχαία. Το θαλασσινό νερό, το νερό ενός ποταμού ή το νερό μιας λίμνης (σχετικά μεγάλης για να μην έχουμε βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας της) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό νερό και να επιστραφεί στον φυσικό του χώρο σε θερμοκρασία που μολονότι αυξημένη δεν δημιουργεί περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στην Ελλάδα ο σταθμός του ΛΑΥΡΙΟΥ χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό για ψύξη. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις η χαμηλή θερμοκρασία του νερού που λαμβάνεται από ένα ποτάμι (π.χ. στην Σιβηρία) μπορεί να αυξήσει την απόδοση του κύκλου εφόσον η θερμοκρασία συμπύκνωσης και άρα η πίεση εξόδου από τον στρόβιλο είναι πολύ χαμηλή.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Οι διαδικασίες του ψυκτικού νερού είναι μεταξύ αυτών που έμαθε ο άνθρωπος από αρχαιοτάτων χρόνων. Συνήθως το νερό ψύχεται λόγω της

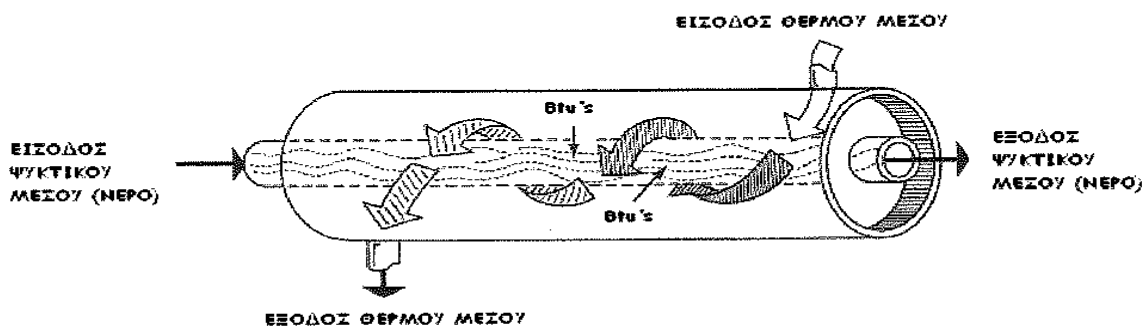
έκθεσής του σε ρεύμα αέρα. Μερικές από αυτές τις διαδικασίες είναι πολύ αργές όπως η ψύξη νερού στην επιφάνεια μιας λίμνης. Άλλες πάλι διαδικασίες είναι γρήγορες σε αποτέλεσμα όπως ο ψεκασμός νερού σε ρεύμα αέρα. Αυτές όλες οι διαδικασίες αναφέρονται στην έκθεση επιφάνειας νερού σε ρεύμα αέρα σε διαφορετικό πάντα βαθμό.

Η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας σχετίζεται με (1) την λανθάνουσα θερμότητα που οφείλεται στην εξάτμιση μικρού μέρους νερού και (2) την αισθητή θερμότητα εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας του νερού και του αέρα. Προσεγγιστικά το 80% της θερμότητας μεταφέρεται λόγω εξάτμισης (latent heat) και το 20% από την αισθητή θερμότητα (sensible heat).

Η μέγιστη θεωρητική αποβολή θερμότητας σε έναν πύργο ψύξης εξαρτάται από την θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα. Μια ένδειξη της υγρασίας του αέρα είναι η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου. Ιδανικά, η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου είναι η ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία στην οποία το νερό μπορεί να ψυχθεί. Πρακτικά η θερμοκρασία του νερού ποτέ δεν φθάνει μια τέτοια θερμοκρασία διότι είναι θεωρητικά αδύνατο να έρθει σε επαφή όλο το νερό με φρέσκο αέρα καθώς διασκορπίζεται κατά την πτώση του στην λεκάνη του πύργου. Η έκταση της προσέγγισης της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου εξαρτάται από το σχεδιασμό του κάθε πύργου ψύξης. Σημαντικοί παράγοντες είναι ο χρόνος επαφής νερού – αέρα, η επιφάνεια με το πληρωτικό υλικό και ο καλός διασκορπισμός σε σταγονίδια. Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, η θερμοκρασιακή προσέγγιση φθάνει τους 3°C .

2.3 ΤΙ ΥΠΕΙΣΕΡΧΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΨΥΚΤΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Η ψύξη ουσιαστικά είναι η μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο (ρευστό) σε ένα άλλο (Σχήμα 1). Το μέσο που χάνει θερμότητα ψύχεται, ενώ το μέσο που απορροφά αυτή τη θερμότητα αποκαλείται ψυκτικό. Όλα τα ψυκτικά συστήματα βασίζονται σε αυτή την πολύ απλή αρχή της μετάδοσης θερμότητας. Το νερό είναι το μέσο που χρησιμοποιείται ευρέως ως ψυκτικό μέσο.



Σχήμα 1. Μετάδοση θερμότητας σε εναλλάκτη

2.4 ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΤΟ ΝΕΡΟ ΣΑΝ ΨΥΚΤΙΚΟ ΜΕΣΟ

Πολλοί είναι οι παράγοντες που κάνουν το νερό να είναι ένα εξαιρετικό μέσο για ψύξη:

- Βρίσκεται άφθονο στη φύση, άμεσα διαθέσιμο και με πολύ μικρό κόστος
- Εύκολο στη χρήση
- Μπορεί να μεταφέρει μεγάλα ποσά θερμότητας ανά μονάδα όγκου

- Δε διαστέλλεται ούτε συμπιέζεται σημαντικά σε φυσιολογικές συνθήκες
- Δεν αποσυντίθεται

2.5 ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΦΡΕΣΚΟ ΝΕΡΟ: Είναι η κύρια πηγή που χρησιμοποιείται για ψυκτικά συστήματα. Το φρέσκο νερό μπορεί να προέρχεται είτε από επιφανειακά νερά (ποτάμια, χείμαρρους, ταμιευτήρες), είτε από υπόγεια νερά (ρηχά ή βαθιά πηγάδια). Γενικότερα το υπόγειο νερό είναι πιο σταθερό στην σύνθεση του και περιέχει λιγότερα διαλυμένα στοιχεία από ότι το επιφανειακό νερό, το οποίο επηρεάζεται άμεσα από βροχοπτώσεις, διάβρωση, και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες.

ΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΛΗΜΑΤΑ: Λόγω των περιβαλλοντικών θεωρήσεων, του κόστους του νερού αλλά και της διαθεσιμότητας του, κάποια εργοστάσια τώρα χρησιμοποιούν αλμυρό νερό και λύματα, εφόσον αυτά επεξεργαστούν κατάλληλα, για ψυκτικό μέσο. Ωστόσο τα συστήματα αυτά απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή τόσο στο σχεδιασμό τους όσο και στη λειτουργία τους για να είναι αξιόπιστη η λειτουργία όλης της μονάδας.

3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ: Είναι ένα μέτρο για την ικανότητα μετάδοσης ηλεκτρισμού στο νερό. Όσον αφορά το ψυκτικό νερό, δείχνει πόσα μεταλλικά στοιχεία και αέρια είναι διαλυμένα μέσα σε αυτό. Η αγωγιμότητα μετριέται σε *microhmhos*, και μπορεί να μεταβάλλεται από μερικές δεκάδες για το απεσταγμένο νερό μέχρι και 10.000 για το αλμυρό νερό.

pH: Το pH είναι ένας δείκτης για τη σχετική αλκαλικότητα ή οξύτητα του νερού. Οι τιμές που μπορεί να πάρει το pH κυμαίνονται από 0 (όξινο) έως 14 (αλκαλικό).

ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ: Στο ψυκτικό νερό υπάρχουν δύο μορφές αλκαλικότητας που διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο. Αυτές είναι η ανθρακική αλκαλικότητα (CO_3) και η όξινη ανθρακική αλκαλικότητα (HCO_3). Ο προσδιορισμός της αλκαλικότητας είναι μια μέτρηση, απαραίτητη στον έλεγχο των πόσιμων νερών και των νερών που προορίζονται για ιχθυοκαλλιέργειες, βιομηχανική χρήση ή άρδευση.

Ως αλκαλικότητα ενός δείγματος νερού, ορίζεται η απαιτούμενη ποσότητα ισχυρού οξέος για την εξουδετέρωση των βάσεων, που περιέχει το δείγμα αυτό. Η τιμή της αλκαλικότητας, όμως, διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με το τελικό σημείο ογκομέτρησης. Για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας, τιτλοδοτείται ορισμένη ποσότητα δείγματος με σταθερής κανονικότητας διάλυμα οξέος, παρουσία δείκτη ή ηλεκτρομετρικά (με πεχάμετρο). Η

αλκαλικότητα σε πολλά επιφανειακά νερά οφείλεται στην παρουσία ανθρακικών, όξινων ανθρακικών ιόντων και υδροξυλιόντων. Για αυτό, συχνά η αλκαλικότητα χρησιμεύει σαν δείκτης συγκέντρωσης αυτών των ιόντων. Σε απόβλητα η αλκαλικότητα μπορεί να προέρχεται και από την παρουσία φωσφορικών, βορικών, πυριτικών ιόντων.

Πίνακας 1. Επιλογή τελικών σημείων αντίδρασης αλκαλικότητας

ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ mg/ltr	ΤΕΛΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ pH	
	ΟΛΙΚΗ	ΦΑΙΝΟΛΟΦΘΑΛΕΙΝΗΣ
30	4,9	8,3
150	4,6	8,3
500	4,3	8,3
Παρουσία πυριτικών και φωσφορικών	4,5	8,3
Βιομηχανικά απόβλητα ή σύνθετα διαλύματα	4,5	8,3
Αναλύσεις ρουτίνας	4,5	8,3

Από τον προσδιορισμό της ολικής αλκαλικότητας (M) και της αλκαλικότητας ως προς φαινολοφθαλείνη (P ή μερική αλκαλικότητα), μπορούμε να βγάλουμε ορισμένα συμπεράσματα για τη σύσταση του δείγματος ως προς την παρουσία ορισμένων ιόντων (π.χ. υδροξυλιόντα, ανθρακικά) ή και απουσία άλλων ιόντων (π.χ. φωσφορικά, πυριτικά, βορικά). Με βάση τα παραπάνω αν η αλκαλικότητα ως προς φαινολοφθαλείνη (pH = 8,3) έχει :

- Αριθμητική τιμή μικρότερη από την ολική αλκαλικότητα, είναι ένδειξη παρουσίας ανθρακικών ιόντων στο δείγμα
- Αριθμητική τιμή μεγαλύτερη από το μισό της ολικής αλκαλικότητας, είναι ένδειξη παρουσίας υδροξυλιόντων στο δείγμα
- Αριθμητική τιμή μικρότερη από το μισό της ολικής αλκαλικότητας, είναι ένδειξη παρουσίας όξινων ανθρακικών ιόντων στο δείγμα

Στον παρακάτω πίνακα 2 καταγράφονται μαθηματικά τα παραπάνω συμπεράσματα.

Πίνακας 2.

Αποτέλεσμα τιτλοδότησης	Αλκαλικότητα OH^-	Ανθρακική αλκαλικότητα	Όξινη ανθρακική αλκαλικότητα
$P = 0$	0	0	M
$P < 1/2M$	0	2P	M-2P
$P = 1/2M$	0	2P	0
$P > 1/2M$	2P - M	2(M - P)	0
$P = M$	M	0	0

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ: Τα φυσικά νερά περιέχουν εν διαλύσει διάφορες ουσίες όπως τα αέρια οξυγόνο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, και τα στερεά $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgSO_4 .

Σκληρό νερό ονομάζεται το νερό που περιέχει εν διαλύσει ποσότητα αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου. Η σκληρότητα του νερού ανάλογα με το είδος των περιεχόμενων αλάτων διακρίνεται σε παροδική και μόνιμη.

ΠΑΡΟΔΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ: Η παροδική σκληρότητα οφείλεται στα ευδιάλυτα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου. Ονομάζεται έτσι, γιατί εξαφανίζεται με μια απλή διεργασία, το βρασμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα όξινα ανθρακικά άλατα με θέρμανση μετατρέπονται σε δυσδιάλυτα ουδέτερα, τα οποία καθιζάνουν:



Τα ανθρακικά και όξινα ανθρακικά (διττανθρακικά) άλατα του ασβεστίου έχουν την ικανότητα να διατηρούν το pH του διαλύματος. Η ικανότητα αυτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με το λόγο ανθρακικών / διττανθρακικών. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος αυτός τόσο καλύτερη είναι η ικανότητα του νερού να αντιστέκεται στις αλλαγές του pH, ειδικότερα μάλιστα στην προσθήκη όξινων ουσιών. Συνεπώς και η αλκαλικότητα του νερού επηρεάζεται από την παρουσία ή μη ανθρακικών / διττανθρακικών του ασβεστίου (όσο περισσότερα είναι αυτά τόσο πιο αλκαλικό είναι το διάλυμα). Ωστόσο η αλκαλικότητα δεν ταυτίζεται με την παροδική σκληρότητα γιατί αυτή εξαρτάται από όλα τα αλκαλικά συστατικά, ενώ η παροδική σκληρότητα από τα ανθρακικά και όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου.

ΜΟΝΙΜΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ: Η μόνιμη σκληρότητα οφείλεται σε χλωριούχα και θειικά άλατα του μαγνησίου και του ασβεστίου, τα οποία δεν καθιζάνουν με βρασμό. Σε αντίθεση με την παροδική σκληρότητα, δεν επηρεάζει το pH του διαλύματος. Παρόλα αυτά, είναι ένας πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας για τη χλωρίδα και την πανίδα ενός οικοσυστήματος.

Το σύνολο της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας αποτελεί την ολική σκληρότητα του νερού. Η σκληρότητα του νερού μετριέται σε σκληρομετρικούς βαθμούς, γαλλικούς ή γερμανικούς. Ένας γαλλικός βαθμός αντιπροσωπεύει 10mg ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) ανά λίτρο νερού, ενώ ένας γερμανικός 10mg οξειδίου του ασβεστίου ανά λίτρο νερού.

3.1 ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΑΥΤΑ ΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΝΕΡΟ

Κάθε ένα από τα παραπάνω χημικά χαρακτηριστικά έχει μια άμεση επίδραση στα τέσσερα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα ψύξης με νερό: διαβρώσεις (corrosion), αποθέσεις (fouling), επικαθίσεις (scale) και μικροβιολογική μόλυνση (microbiological contamination). Επίσης αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζουν και τα προγράμματα αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων.

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ: Τα προγράμματα αντιμετώπισης στα συστήματα ψύξης με νερό λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος αγωγιμότητας του νερού. Το εύρος κάθε φορά καθορίζεται από το σχεδιασμό του συστήματος ψύξης και τα χαρακτηριστικά και τον τύπο του χημικού προγράμματος.

pH: Ο έλεγχος του pH είναι κρίσιμος για την πλειονότητα των προγραμμάτων αντιμετώπισης προβλημάτων στα συστήματα ψύξης με νερό. Γενικότερα, όταν το pH είναι χαμηλότερο από τα επιτρεπόμενα όρια ευνοείται η διάβρωση, ενώ όταν το pH είναι υψηλότερο από τα επιτρεπόμενα όρια ευνοείται η δημιουργία επικαθίσεων. Παράλληλα η αποδοτικότητα των βιοκτόνων εξαρτάται από το pH. Επομένως χαμηλό ή υψηλό pH μπορεί να επιτρέψει την δημιουργία μικροβιολογικών προβλημάτων.

ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ: Η αλκαλικότητα και η τιμή του pH είναι άρρηκτα συνδεδεμένες, γιατί μια αύξηση στο pH σημαίνει και αύξηση της αλκαλικότητας και το αντίστροφο. Γενικότερα, όπως και με το pH, όταν η

αλκαλικότητα είναι χαμηλότερη από τα επιτρεπόμενα όρια ευνοείται η διάβρωση, ενώ όταν η αλκαλικότητα pH είναι υψηλότερο από τα επιτρεπόμενα όρια ευνοείται η δημιουργία επικαθίσεων. Όταν υπάρχουν προβλήματα διάβρωσης ή επικαθίσεων, τότε είναι πιθανό να εμφανίζονται και προβλήματα επικαθίσεων.

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ: Τα επίπεδα σκληρότητας του νερού συνδυάζονται συχνά με την τάση του ψυκτικού νερού να δημιουργεί ή όχι επικαθίσεις. Τα διάφορα προγράμματα αντιμετώπισης επικαθίσεων μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά μόνον όταν τα επίπεδα σκληρότητας του νερού παραμένουν μέσα στα προβλεπόμενα όρια. Παράλληλα κάποια προγράμματα αντιμετώπισης της διάβρωσης για να είναι αποδοτικά απαιτούν συγκεκριμένα επίπεδα σκληρότητας του νερού.

Το νερό για βιομηχανικές χρήσεις πρέπει να είναι όσο το δυνατό «μαλακότερο», ιδίως όταν χρησιμοποιείται στους ατμολέβητες. Διότι, όταν το νερό αυτό είναι σκληρό, τότε τα διαλυμένα όξινα άλατα των Ca, Mg που περιέχει μετατρέπονται με το βρασμό, ή σε επίπεδα υψηλής πίεσης, σε ουδέτερα CaCO_3 και Mg CO_3 που είναι αδιάλυτα στο νερό. Αυτά τα αδιάλυτα άλατα αποτίθενται στα εσωτερικά τοιχώματα των λεβήτων και των άλλων μεταλλικών επιφανειών του εξοπλισμού (συμπυκνωτής, σωληνώσεις κ.α.), και με την πάροδο του χρόνου σχηματίζουν ένα σκληρό εσωτερικό επίστρωμα που ονομάζεται λεβητόλιθος (scale). Ο λεβητόλιθος είναι δυσθερμαγωγό σώμα και παρεμποδίζει σοβαρά τη μετάδοση της θερμότητας στο νερό. Παράλληλα, δυσχεραίνει και την κυκλοφορία του νερού στις διάφορες σωληνώσεις του συστήματος. Τα δύο παραπάνω προβλήματα προκαλούν πολλές παρενέργειες στην λειτουργία του συστήματος. Χαρακτηριστικά, όπως αναφέρεται και σε

άλλα σημεία αυτής της εργασίας, οι επικαθίσεις, μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του κόστους λειτουργίας της μονάδας λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας που απαιτούμε για να έχουμε τα αποτελέσματα που επιδιώκουμε (π.χ. MW ηλεκτροπαραγωγής). Επιπρόσθετα, η σκληρότητα του νερού οδηγεί σε πρόωρη γήρανση του, μεταλλικού κυρίως, εξοπλισμού του συστήματος. στον Πίνακα 3 καταγράφονται η κατηγορίες του νερού με βάση την σκληρότητα του.

Πίνακας 3.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ	
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ
Μαλακό νερό	0 με 17,1 mg/lit (ppm CaCO ₃)
Ελαφρά σκληρό νερό	17,1 με 51,3 mg/lit (ppm CaCO ₃)
Μετρίως σκληρό νερό	51,3 με 119,7 mg/lit (ppm CaCO ₃)
Σκληρό νερό	119,7 με 179,55 mg/lit (ppm CaCO ₃)
Πολύ σκληρό νερό	πάνω από 179,55 mg/lit (ppm CaCO ₃)

4. ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΝΕΡΟ

(Σχήματα 2α,β,γ)

Παρόλο που κανένα ψυκτικό σύστημα με νερό δεν ομοιάζει με ένα άλλο, υπάρχουν στην πραγματικότητα τρεις βασικές κατηγορίες διαχωρισμού των συστημάτων αυτών με βάση το σχεδιασμό τους:

- Ανοιχτά συστήματα επανακυκλοφορίας
- Συστήματα διέλευσης «μια και έξω» (once through systems)
- Κλειστά συστήματα επανακυκλοφορίας

4.1 ΠΟΙΕΣ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1.1 ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Τα ανοιχτά συστήματα επανακυκλοφορίας (Σχήμα 2α) είναι τα πιο διαδεδομένα στη βιομηχανία. Τα κυρίως μέρη αυτών των συστημάτων είναι οι αντλίες, οι εναλλάκτες θερμότητας και οι πύργοι ψύξης. Οι αντλίες εγγυώνται την επανακυκλοφορία του νερού διαμέσου των εναλλακτών θερμότητας, από όπου το νερό απάγει θερμότητα και την αποβάλλει στον πύργο ψύξης με εξάτμιση. Εξαιτίας της εξάτμισης αυτής, η βασική χημεία του νερού σε αυτά τα συστήματα υπόκειται σε μεταβολές. Μια ανάλυση για τους διάφορους τύπους πύργων ψύξης παρατίθεται σε επόμενο κεφάλαιο.

4.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ «ΜΙΑ ΚΑΙ ΕΞΩ»

Στα συστήματα αυτά (Σχήμα 2β) το ψυκτικό νερό διέρχεται διαμέσου των εναλλακτών θερμότητας μόνο μία φορά. Σε αυτά τα συστήματα απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού, για αυτό και το νερό που εκρέει παρουσιάζει μια πολύ μικρή θερμοκρασιακή αύξηση. Τα μεταλλικά στοιχεία που εμπεριέχονται στο νερό παραμένουν πρακτικά αμετάβλητα κατά τη διέλευση του ψυκτικού νερού από το σύστημα.

Στα συστήματα αυτά, ο ατμός εξερχόμενος από το στρόβιλο εισέρχεται σε ένα επιφανειακό συμπυκνωτή όπου συμπυκνείται με τη βοήθεια νερού ψύξης προερχόμενου από ποταμό ή θάλασσα.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ:

- Η μέθοδος δεν είναι δαπανηρή

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

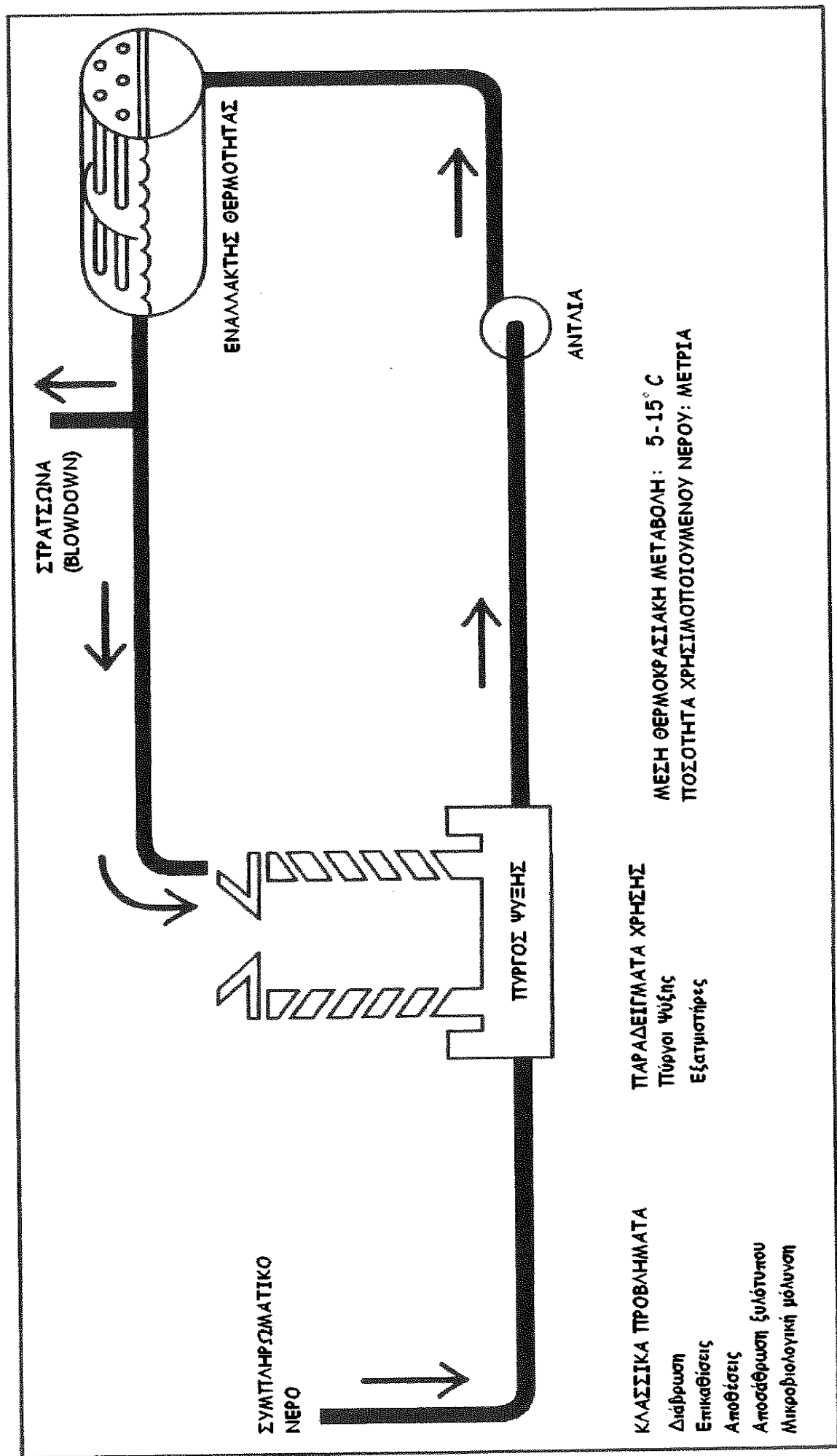
- Οι ποσότητες του νερού που διατίθενται συνήθως για το σκοπό αυτό είναι περιορισμένες
- Η δυνατότητα θερμικής φόρτισης των υδάτων είναι περιορισμένη (χλωρίδα - πανίδα)
- Ο θερμικός σταθμός επιβάλλεται σε αυτή την περίπτωση να κατασκευαστεί εκεί όπου υπάρχει το ψυκτικό νερό
- Υπάρχει ο κίνδυνος επικαθίσεων και διαβρώσεων στο ψυκτικό κύκλωμα

Δεδομένου ότι με την παραπάνω μέθοδο υπάρχει πάντοτε ο φόβος της θερμικής φόρτισης των υδάτων (ποταμών, λιμνών, θαλασσών) και επειδή με μικρή ανύψωση της θερμοκρασίας αυτών όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί στα νερά αυτά είναι δυνατόν να θανατωθούν, μπορεί να τοποθετηθεί ένας πύργος ψύξης προ της προσαγωγής του νερού στον ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να εξαλείψουμε κάποια από τα μειονεκτήματα που αναφέρονται παραπάνω, από την άλλη πλευρά όμως αυξάνουμε το κόστος της επένδυσης της μονάδας.

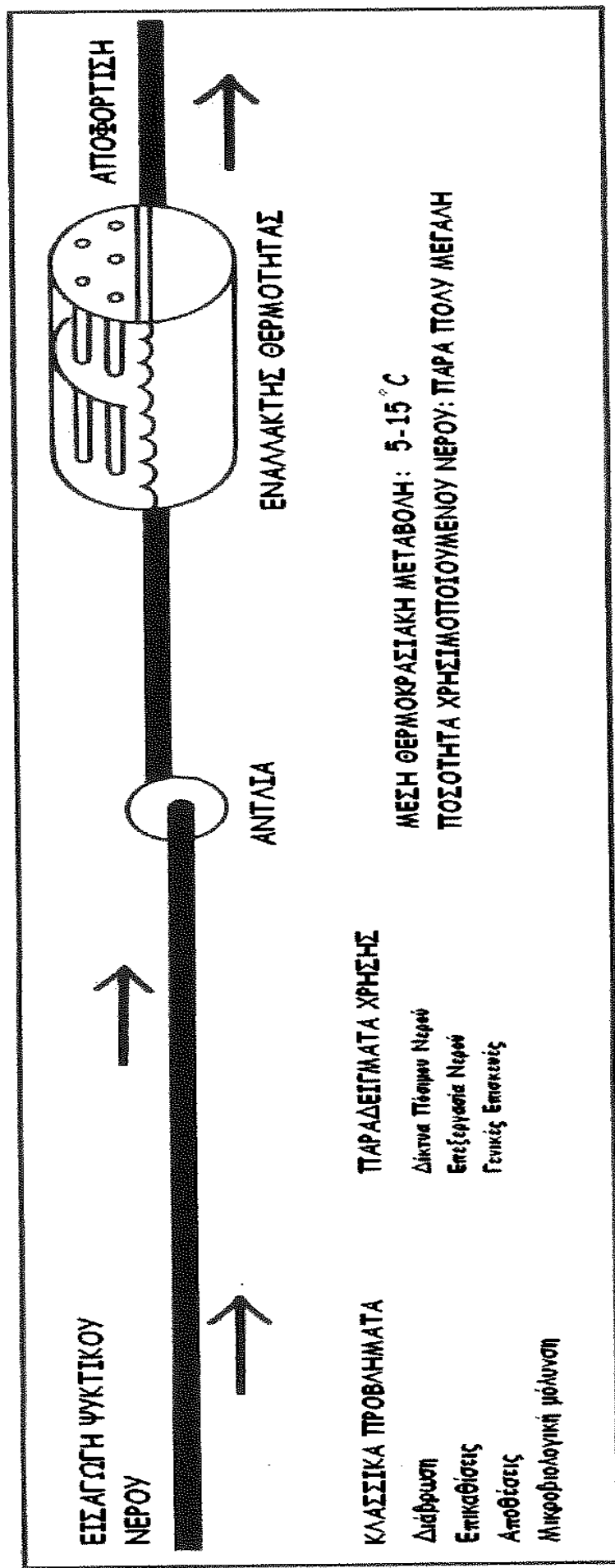
4.1.3 ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Στα κλειστά συστήματα επανακυκλοφορίας (Σχήμα 2γ) χρησιμοποιείται το ίδιο ψυκτικό νερό με μια κυκλική διεργασία. Αρχικά το ψυκτικό νερό απορροφά θερμότητα από το θερμό ρευστό σε έναν εναλλάκτη θερμότητας και στην συνέχεια αποβάλλει τη θερμότητα αυτή σε έναν άλλο εναλλάκτη θερμότητας. Στα συστήματα αυτά οι πύργοι ψύξης δεν χρησιμοποιούνται.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα σχήματα των τριών συστημάτων ψύξης με νερό (Σχήματα 2α, 2β και 2γ).

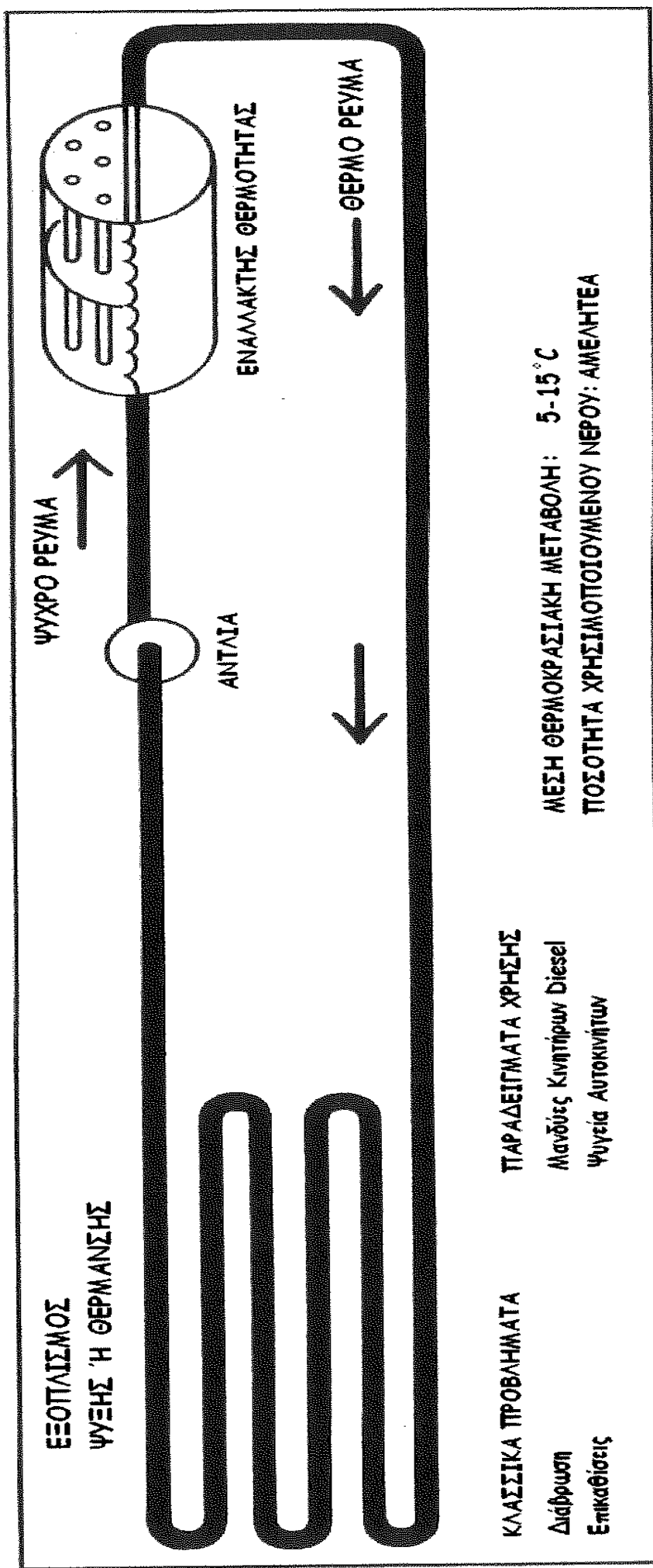


Σχήμα 2α Σχηματικό διάγραμμα Ανοιχτών Συστημάτων Επανακυκλοφορίας



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ "ΜΙΑ ΚΑΙ ΕΞΩ"

Σχήμα 2β Σχηματικό διάγραμμα Συστημάτων Διέλευσης «Μια και Έξω»



**ΕΞΟΤΙΣΜΟΣ
ΨΥΞΗΣ Ή ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

ΑΝΤΑΞΙΑ

ΨΥΧΡΟ ΡΕΥΜΑ

ΕΝΑΜΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

←

← ΘΕΡΜΟ ΡΕΥΜΑ

ΚΛΑΣΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
Διάβρωση
Επικαθίσεις

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ
Μανόβρες Κινητήρων Diesel
Ψύγεια Αυτοκινήτων

ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ: 5-15 °C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ: ΑΜΕΛΗΤΕΑ

ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Σχήμα 2γ Σχηματικό διάγραμμα Κλειστών Συστημάτων Επανακυκλοφορίας

5. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΥΚΛΟΥ ΨΥΞΗΣ: ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο ψυκτικός πύργος αποτελεί βασικό κομμάτι του εξοπλισμού κάθε βιομηχανικού συγκροτήματος που χρησιμοποιεί συστήματα ανακυκλούμενου ψυκτικού υγρού μέσου. Επειδή το πιο σύνηθες βιομηχανικό ψυκτικό μέσο είναι το νερό, ο ψυκτικός πύργος είναι κατ' εξοχήν συνδεδεμένος με την κατεργασία του νερού ψύξης. Στην ουσία, αποτελεί συσκευή εναλλαγής θερμότητας, η οποία απομακρύνει τεράστια θερμικά φορτία στην ατμόσφαιρα, ψύχοντας το θερμό νερό, μέχρι μιας θερμοκρασίας, ικανοποιητικής για επαναληπτική χρήση αυτού.

Η ψύξη του θερμού νερού επιτυγχάνεται κυρίως με εξάτμιση μετά από επαφή με αέρα. Το θερμό νερό έρχεται σε επαφή με αέρα, ο οποίος δεν είναι κορεσμένος. Η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για τη δημιουργία των υδρατμών λαμβάνεται από το θερμό νερό με αποτέλεσμα την ψύξη αυτού. Η επιθυμητή, συνήθως, τελική θερμοκρασία είναι κατά 5-15 °C μικρότερη της αρχικής.

Μολονότι οι πύργοι ψύξης ταξινομούνται με διάφορους τρόπους, η βασική ταξινόμηση είναι σε υγρούς και ξηρούς αλλά και σε κάποια υβρίδια συνδυασμού υγρών και ξηρών πύργων. Άλλες ταξινομήσεις συμπεριλαμβάνουν τον τύπο δημιουργίας του ελκυσμού, (draft), την σχετική τοποθεσία του ελκυσμού αυτού σε σχέση με το μέσο μεταφοράς της θερμότητας, το μέσο

μεταφοράς της Θερμότητας, την σχετική κίνηση του αέρα και τον τρόπο διασκορπισμού του νερού.

5.2 ΥΓΡΟΙ ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ

5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι υγροί πύργοι ψύξης έχουν μεγέθη ψυκτικού φορτίου που κυμαίνονται από $5 \cdot 10^6$ Btu/hr για μικρούς πύργους κλιματιστικών μηχανημάτων έως $5.000 \cdot 10^6$ Btu/hr για πύργους ψύξης μεγάλων Θερμοηλεκτρικών σταθμών.

Όταν χρησιμοποιείται νερό σαν μέσο απαγωγής της ψύξης χρησιμοποιούνται οι υγροί ή εξατμιστικοί (wet or evaporative) πύργοι ψύξης. Οι πύργοι αυτοί βασίζονται στην λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού για να γίνει ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του νερού και του αέρα που διέρχεται από τον πύργο.

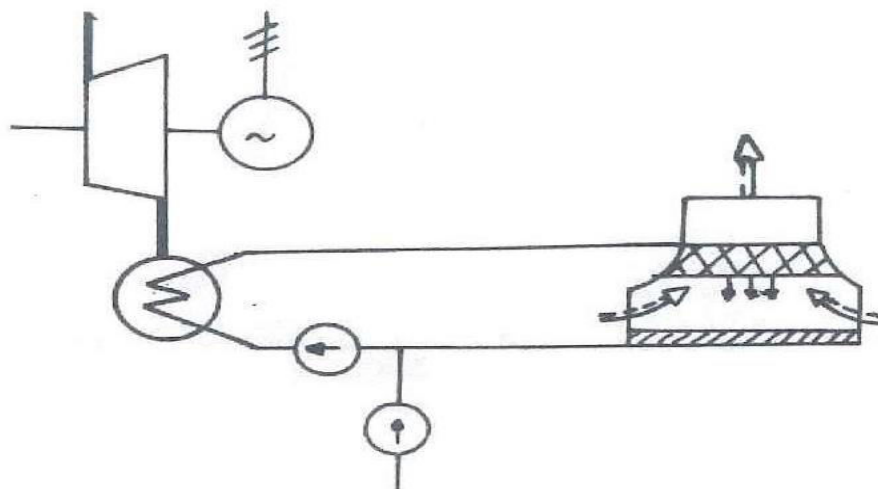
Στους υγρούς πύργους, η μεταφορά θερμότητας μετριέται από την μείωση της θερμοκρασίας και την συναρτώμενη αύξηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου του αέρα που εξέρχεται από τον πύργο. Οι υγροί πύργοι συνήθως περιέχουν ένα γέμισμα για να διευκολυνθεί η εξάτμιση παρέχοντας μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας και δημιουργώντας όσον το δυνατόν περισσότερων σταγόνων νερού.



Ο ατμός που εξέρχεται από το στρόβιλο συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού σε συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, το νερό ψύξης ψύχεται σε έναν υγρό πύργο ψύξης.

Ο υγρός πύργος ψύξης (Σχήμα 3) υψώνεται πάνω από μία δεξαμενή νερού (Λεκάνη) σχήματος τετραγωνικού ή τις περισσότερες φορές κυλινδρικού. Είναι μία κυλινδρική ή τετράπλευρη κατασκευή επί της οποίας υπάρχει το σύστημα κατανομής και ψύξης του νερού. Το νερό κατανέμεται σε μεγάλο αριθμό καναλιών, απ' όπου με μικρές οπές πέφτει σε πιατάκια διασκορπισμού ή κυλιέται σε κυματοειδείς επιφάνειες, ερχόμενο σε άμεση επαφή με τον από κάτω προς τα άνω προσαγόμενο αέρα όπου και ψύχεται.

Σαν υλικά για το υδραυλικό τμήμα κατανομής του νερού χρησιμοποιούνται ξύλο ή PVC. Παλαιότερα χρησιμοποιείτο αμιαντοτσιμέντο (Σχήμα 4), το οποίο έχει σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής εφόσον το νερό ψύξης έχει υποστεί την κατάλληλη χημική κατεργασία. Τον τελευταίο καιρό χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο πλαστικά υλικά, αφού έχει γίνει πλέον γνωστή η επίδραση της σκόνης αμιάντου στους ανθρώπινους οργανισμούς. Το ξύλο έχει το πλεονέκτημα των χαμηλών εξόδων εγκατάστασης, υστερεί όμως στη διάρκεια ζωής έναντι του αμιαντοτσιμέντου.



Σχήμα 3 Υγρός πύργος ψύξης



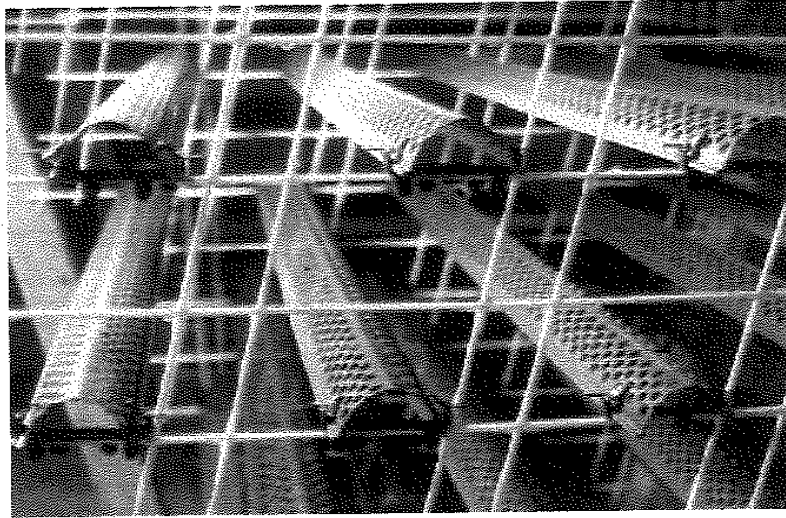
Σχήμα 4 Χρήση αμιαντοσιμέντου ως πληρωτικό υλικό σε πύργο ψύξης

5.2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΥΛΙΚΩΝ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Αν και ο πύργος ψύξης αναφέρεται συχνά ως επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, αυτή η ορολογία δεν είναι αυστηρά ακριβής. Η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας στον πύργο είναι στην πραγματικότητα η εκτεθειμένη επιφάνεια του ίδιου του νερού. Το πληρωτικό υλικό είναι απλά ένα μέσο από το οποίο περισσότερη επιφάνεια νερού εκτίθεται στον αέρα για περισσότερο χρόνο. Ως εκ τούτου η χρήση του αυξάνει και το ποσοστό και το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται, αρκετά περισσότερο από την απλή δράση ψεκασμού.

5.2.2.1 ΠΛΗΡΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

Οι δύο βασικοί τύποι πληρωτικών υλικών είναι ο τύπου πρόσπτωσης (Σχήμα 5) και μεμβράνης (Σχήμα 6). Το πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης κάνει το ρέον νερό να πέφτει σαν καταρράκτης μέσω διαδοχικών παράλληλων υψωμάτων, χωρίζοντας συνεχώς το ρεύμα του ρέοντος νερού σε σχετικά μικρά σταγονίδια. Ίσης σπουδαιότητας είναι ο αυξανόμενος χρόνος επαφής αέρα-νερού που επιτυγχάνεται από την επαναλαμβανόμενη διακοπή της ροής του νερού.

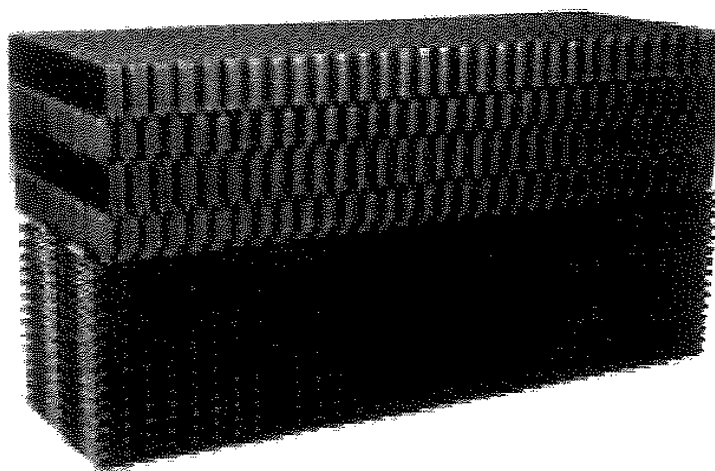


Σχήμα 5 Πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης

Αν και έκαστος τύπος πληρωτικού υλικού μπορεί να εγκατασταθεί και σε πύργους διασταυρωμένης ροής και αντιρροής, το πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης είναι πιο χρήσιμο στη διασταυρωμένη ροή. Δεδομένου ότι η μετακίνηση του νερού μέσα σε έναν πύργο διασταυρωμένης ροής είναι ουσιαστικά κάθετη, το πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης πρέπει να συμφωνεί με την ευρεία διάσταση των παράλληλων υψωμάτων που είναι τοποθετημένα σε ένα οριζόντιο επίπεδο, για να επιτευχθεί μέγιστη διασπορά και επιβράδυνση του νερού. Η μικρή κάθετη διάσταση, και η σχετικά ευρεία κάθετη κλιμάκωση των υψωμάτων, παρέχει μικρότερη αντίσταση στη ροή αέρος στην οριζόντια κατεύθυνση. Η χρήση πληρωτικού υλικού τύπου πρόσπτωσης στους πύργους αντιρροής, όπου η ροή αέρα είναι ουσιαστικά κάθετη, απαιτεί μια αύξηση της ισχύος των ανεμιστήρων - και ως εκ τούτου υψηλότερες λειτουργικές δαπάνες.

5.2.2.2 ΠΛΗΡΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΤΥΠΟΥ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

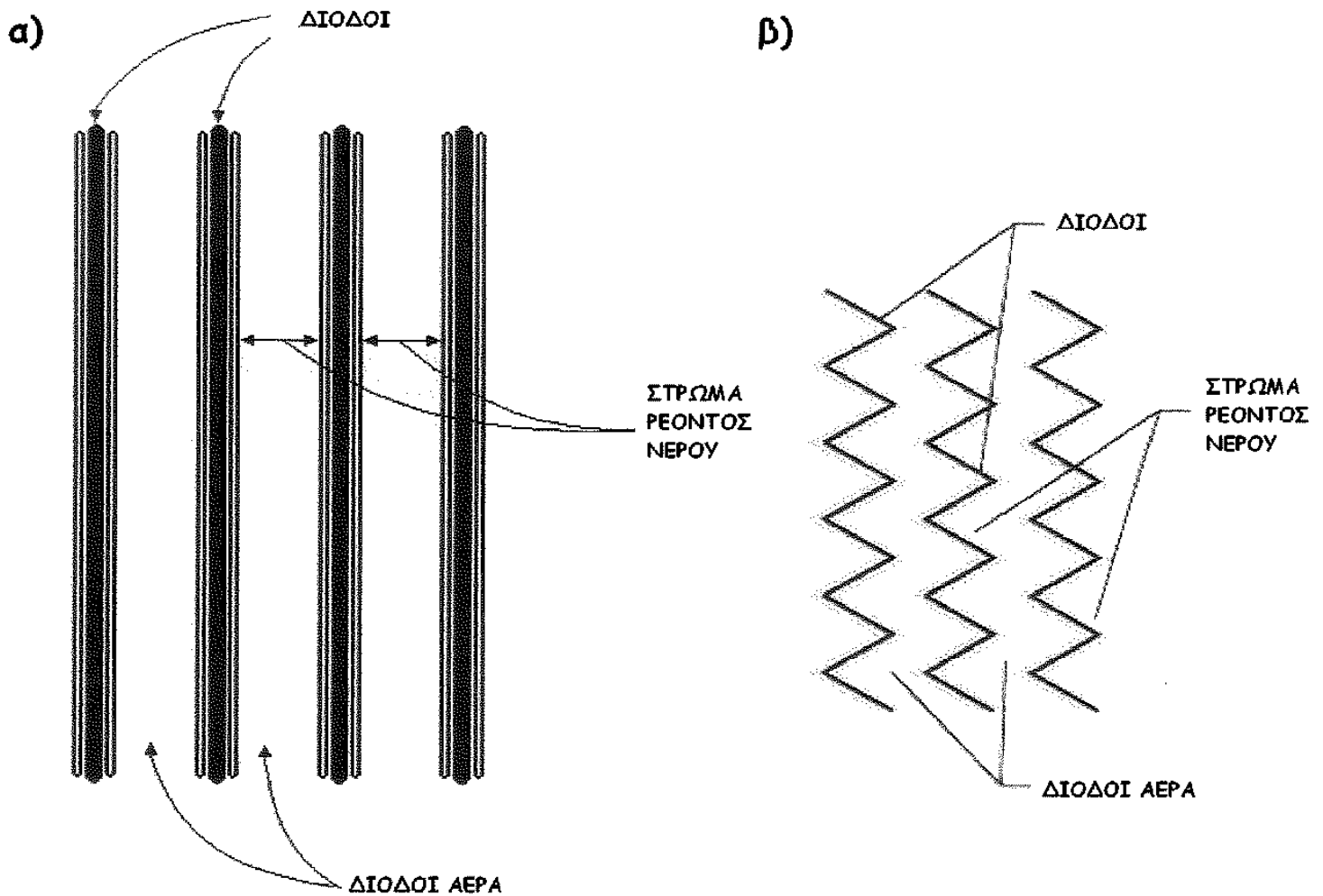
Το πληρωτικό υλικό τύπου μεμβράνης υπερείχε κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας περίπου, λόγω της δυνατότητας των να εκθέτει μεγαλύτερη επιφάνεια νερού μέσα σε έναν δεδομένο κλειστό όγκο. Σύμφωνα με κάποια πηγή, χρειάζονται περίπου 3m πληρωτικού υλικού τύπου πρόσπτωσης για να επιτύχουν την ψύξη που πετυχαίνουν μόλις 0.3m μεμβράνης. Το νερό ρέει σε μια λεπτή μεμβράνη μέσα από κάθετα προσανατολισμένα στρώματα πληρωτικού υλικού τα οποία χωρίζονται κατά διαστήματα είτε από κάθετες είτε από οριζόντιες διόδους αέρα. Επομένως, το πληρωτικό υλικό τύπου μεμβράνης είναι εξίσου αποτελεσματικό σε πύργους διασταυρωμένης ροής και σε πύργους αντίρροής.



Σχήμα 6 Πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης

Για να φανούν σαφέστερα τα στοιχεία του, τα στρώματα μεμβράνης στο Σχήμα 7 σχεδιάζονται επίπεδα.

Στην πράξη, αυτά τα στρώματα, κυρίως φτιαγμένα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), είναι τοποθετημένα μεμονωμένα για να δημιουργούν στροβιλισμό μέσα στο ρεύμα του αέρα και να επεκτείνουν περαιτέρω την επιφάνεια έκθεσης του νερού. Παρατηρήστε π.χ. την διαγώνια πτυχωτή διαμόρφωση του Σχήματος 7α και 7β.



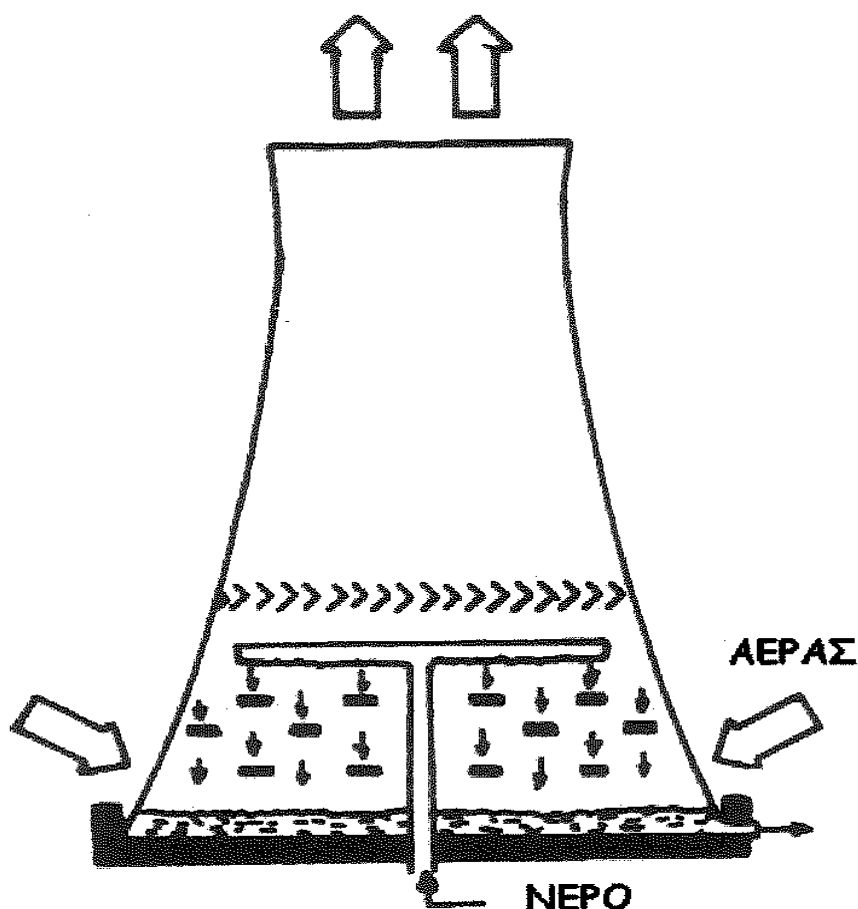
Σχήμα 7 Σχηματική απεικόνιση πληρωτικού υλικού τύπου μεμβράνης (α: επίπεδοι, β: πραγματική απεικόνιση)

Αν και το πληρωτικό υλικό τύπου μεμβράνης έχει έμφυτα πλεονεκτήματα μεταφοράς θερμότητας σε σχέση με το πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης, οι στενές δίοδοι τον το καθιστούν περισσότερο ευπρόσβλητο από ρύπους. Κατά συνέπεια, το πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης δεν θα ξεπεραστεί σύντομα -ιδιαίτερα με τις σημερινές απαιτήσεις για μεγαλύτερο αριθμό κύκλων συγκέντρωσης νερού, χρήση αναμορφωμένου νερού και τα λοιπά.

Ασφαλώς, το εάν θα χρησιμοποιηθούν σανίδες ή επιφάνειες με μικρές οπές στο σύστημα κατανομής και ψύξης εξαρτάται και από την κατάσταση που βρίσκεται το ψυκτικό νερό. Για ακάθαρτα νερά με μεγάλα στερεά σωματίδια χρησιμοποιούνται σανίδες για να αποφευχθούν έτσι οι επικαθίσεις.

5.2.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΠΥΡΓΟ ΨΥΞΗΣ

Ο αέρας εισάγεται κάτω από την επιφάνεια κατανομής και ψύξης του νερού από ανοίγματα στην περιφέρεια του πύργου και διαρρέει την επιφάνειά του, είτε σε αντιρροή (Σχήμα 8), είτε με ομορροή, είτε με καθαρά διασταυρούμενη ροή (Σχήμα 9). Κατά την ομορροή ή την αντιρροή, η ροή του αέρα γίνεται σε κατακόρυφη κατεύθυνση και μέσα από το νερό που καταιωνίζεται, ενώ κατά την διασταυρούμενη ροή σε οριζόντια κατεύθυνση. Η επιλογή της σχετικής κατεύθυνσης αέρα-νερού βασίζεται σε οικονομικά κριτήρια.



Σχήμα 8 Υπερβολοειδής πύργος ψύξης φυσικής κυκλοφορίας με αντirroή

5.3 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ

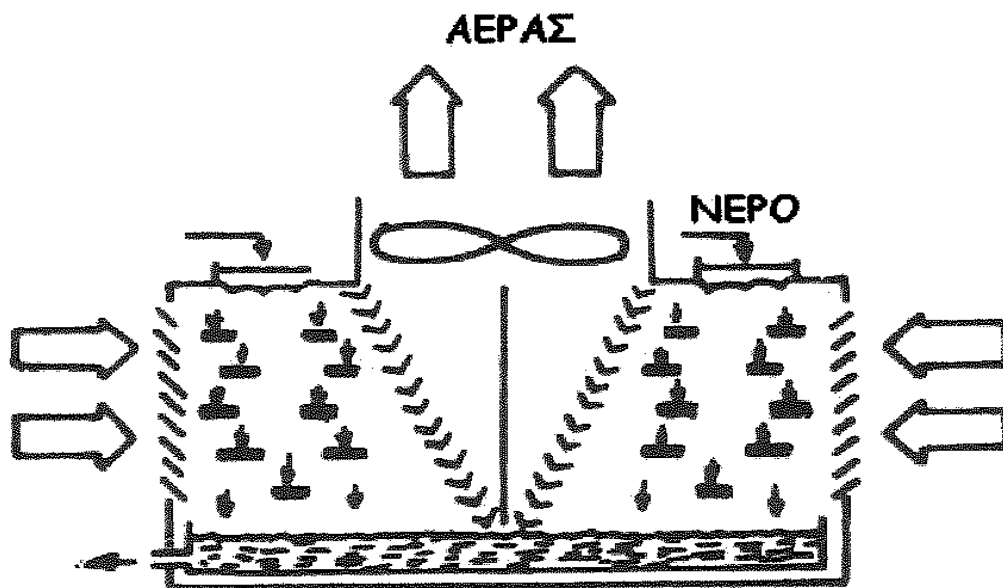
Πολλές φορές εξετάζεται το ερώτημα της φυσικής ή βεβιασμένης κυκλοφορίας του αέρα μέσα από τον πύργο ψύξης. Αυτό είναι θέμα οικονομοτεχνικής εξέτασης και λύνεται με πολλά υπολογιστικά προγράμματα που εξετάζουν τις επιδράσεις που ασκούν οι διάφορες κατασκευές.

Ο φυσικός ελκυσμός (φυσική συναγωγή) βασίζεται στην κίνηση του αέρα λόγω διαφορετικής πυκνότητας αυτού στην είσοδο και έξοδο του πύργου.

Οι πύργοι φυσικού ελκυσμού είναι συνήθως πολύ ογκώδεις (με συνήθη διάμετρο μεγαλύτερη των 60m και ύψος μεγαλύτερο των 75m), και προσφέρονται σε περιπτώσεις μεγάλων παροχών με μικρή απαίτηση ψύξης (6-8 °C).

Ο εξαναγκασμένος ελκυσμός του αέρα πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα και, συγκεκριμένα, με χρήση ανεμιστήρων τοποθετημένων είτε στον πυθμένα, είτε στην κορυφή των πύργων. Οι πύργοι εξαναγκασμένου ελκυσμού (βεβιασμένης κυκλοφορίας δηλαδή) είναι γενικά μικρότεροι σε μέγεθος και επιτυγχάνουν μεγαλύτερες ψύξεις, παρουσιάζουν όμως αυξημένο λειτουργικό κόστος λόγω των ανεμιστήρων τους.

Παρακάτω φαίνονται σχηματικά πύργος φυσικής και βεβιασμένης κυκλοφορίας αέρα.



Σχήμα 9 Πύργος ψύξης βεβιασμένης κυκλοφορίας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πύργων φυσικής και βεβιασμένης κυκλοφορίας καταγράφονται στον πίνακα 4:

Πίνακας 4. πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πύργων φυσικής και βεβιασμένης κυκλοφορίας

Φυσικής κυκλοφορίας	Βεβιασμένης κυκλοφορίας
Πλεονεκτούν	Πλεονεκτούν
1) Για Θερμικούς σταθμούς με πολλές ώρες λειτουργίας ετησίως.	1) Για σταθμούς μικρής ισχύος (< 150 MW).
2) Όταν δεν έχουμε περιορισμό ύψους.	2) Όταν δεν πληρούνται οι όροι των πύργων φυσικής κυκλοφορίας.
3) Για σταθμούς μεγάλης ισχύος (> 150 MW).	
4) Για χώρες εύκρατου κλίματος.	
	Μειονεκτούν
	1) Επικρατεί κακή ατμόσφαιρα λόγω της ανακυκλοφορίας του αέρα περίπου (1 : 2 °C) ανωτέρα θερμοκρασία από πύργους φυσικής κυκλοφορίας.

Ο αέρας που εξέρχεται από τους πύργους ψύξης περιέχει νερό κυκλοφορίας υπό μορφή σταγονιδίων. Οι σταγόνες μέχρι περίπου 10 μm κατατάσσονται στην ομίχλη και στον υπερκεκορεσμένο αέρα, ενώ οι σταγόνες με διάμετρο > 10 μm στο μηχανικά παρασυρόμενο νερό το οποίο δεν συγκρατείται από τον εξοπλισμό διαχωρισμού του νερού και αέρα του πύργου ψύξης. Ένα μέρος από τα εκπεμπόμενα σταγονίδια εξατμίζεται και το υπόλοιπο συμπυκνώνεται και πέφτει σαν βροχή στο έδαφος.

Σύγχρονες μελέτες έχουν αποδείξει ότι ελάχιστα επηρεάζεται το τοπικό κλίμα από τους πύργους ψύξης.

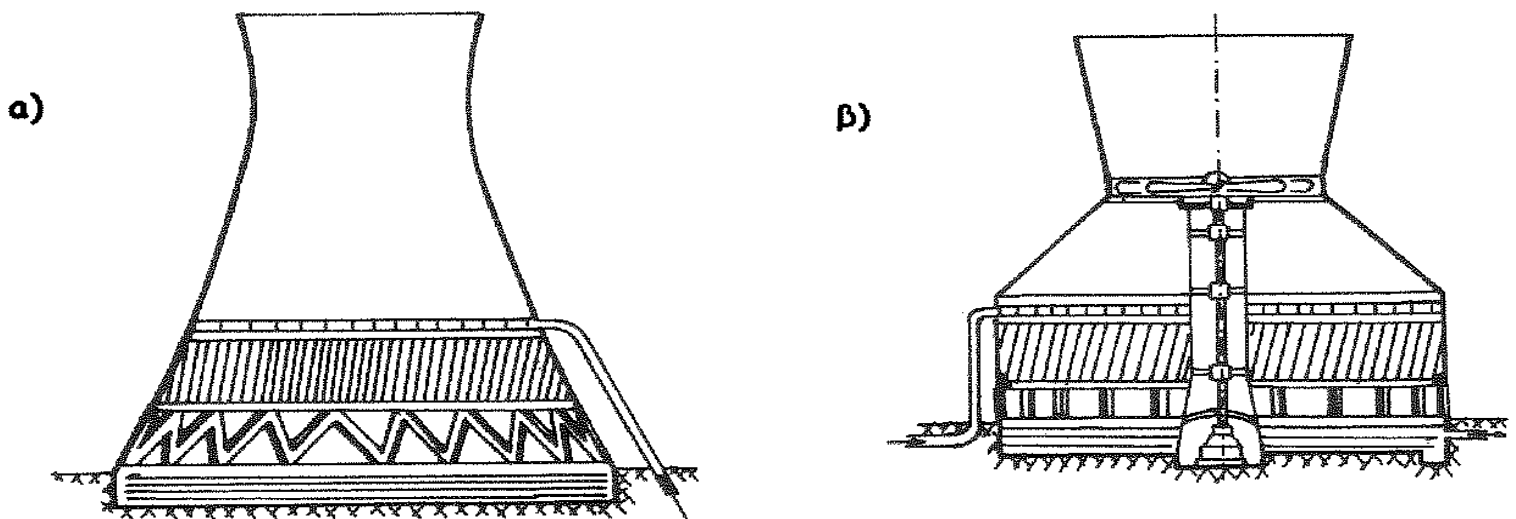
Από τα παραπάνω συνοψίζονται τα κυριότερα λειτουργικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κλειστών πύργων ψύξης:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Αποφυγή της θερμικής φόρτισης των υδάτων.
2. Υπάρχει μικρή εξάρτηση του τόπου κατασκευής του σταθμού από τον τόπο όπου υπάρχει το ψυκτικό νερό (νερό προσθήκης όσο περίπου και η εξάτμιση).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Υψηλά έξοδα εγκατάστασης.
2. Υψηλά έξοδα λειτουργίας διότι συνεχώς πρέπει να προστίθεται νέο νερό στο κύκλωμα.
3. Υπάρχουν κίνδυνοι διαβρώσεων.



Σχήμα 10 Εγκάρσια τομή πύργου ψύξης α) φυσικής κυκλοφορίας, β) βεβιασμένης κυκλοφορίας

5.4 ΞΗΡΟΙ ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ

5.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

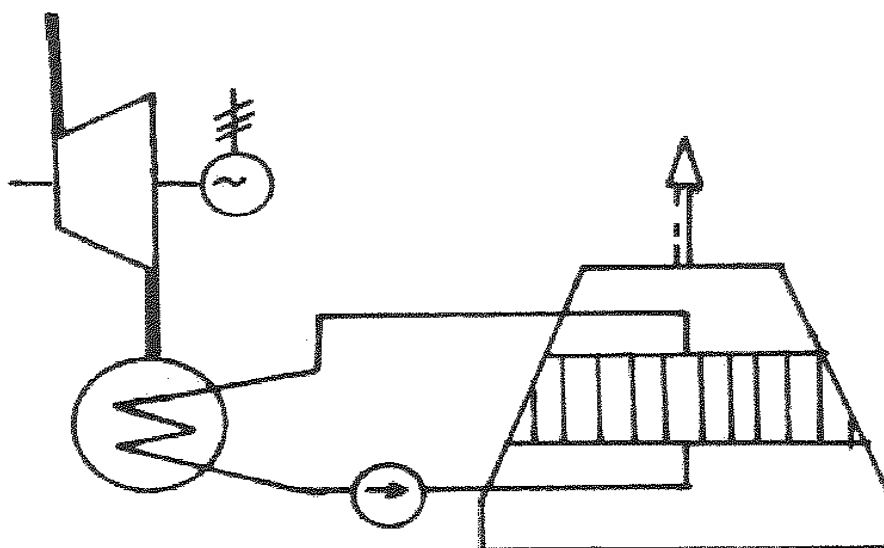
Οι υγροί πύργοι ψύξης παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με ανοικτά συστήματα δηλαδή της κατευθείαν ψύξης με θαλάσσιο ή ποταμίσιο νερό, αλλά συγχρόνως έχουν και πολλά μειονεκτήματα. Στα υψηλά έξοδα εγκατάστασης του πύργου ψύξης προστίθενται ακόμη τα τεράστια έξοδα του νερού συμπλήρωσης. Οι ποσότητες που χάνονται και πρέπει να αντικατασταθούν είναι μεγάλες. Αναφέρεται ότι για συμβατικές μονάδες θερμικών σταθμών οι απώλειες εξάτμισης αντιστοιχούν στο ποσό του 1 με 1,5% της ποσότητας ατμού του στροβίλου, σε περιπτώσεις πυρηνικών μονάδων κυμαίνεται από 2 με 2,2% της ποσότητας ατμού του στροβίλου.

Άρα προκύπτει ότι ο υγρός πύργος ψύξης δεν μπορεί να αποτελέσει την τελική λύση, γιατί η εγκατάστασή του εξαρτάται αφενός μεν από τις ποσότητες του νερού που είναι διαθέσιμες, αφετέρου δε από τυχόν υψηλό κόστος προσαγωγής και επεξεργασίας του συμπληρωματικού νερού.

Τα βασικά μειονεκτήματα του υγρού πύργου ψύξης αποφεύγονται πλήρως χρησιμοποιώντας την ξηρή ψύξη. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής είναι η ανεξαρτησία της από τον τόπο εγκατάστασης του σταθμού. Η ξηρή ψύξη διακρίνεται σε άμεση και έμμεση ψύξη.

5.4.2 ΑΜΕΣΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΞΗΡΗΣ ΨΥΞΗΣ

Στην άμεση ψύξη η θερμότητα μεταδίδεται έμμεσα ή άμεσα στον αέρα (Σχήμα 11). Το προς ψύξη μέσον π.χ. νερό οδηγείται μέσα σε πτερυγιοφόρους σωλήνες, οι οποίοι ψύχονται εξωτερικά με αέρα. Η ροή αέρα δημιουργείται είτε με τη βοήθεια ανεμιστήρων είτε λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας του αέρα εντός και εκτός ενός ξηρού πύργου ψύξης (φυσική κυκλοφορία).



Σχήμα 11 Ξηρός πύργος ψύξης

Τα είδη των ψυκτών αέρα είναι:

α) Ψύκτης αέρα με κατακόρυφη διάταξη με ανεμιστήρα κατάθλιψης ή αναρρόφησης.

Σε μικρές εγκαταστάσεις τοποθετείται ανεμιστήρας κατάθλιψης. Ο ανεμιστήρας αναρρόφησης χρησιμοποιείται για χαμηλά επίπεδα θερμοκρασίας.

β) Ψύκτης αέρα σε οριζόντια διάταξη ως επί το πλείστον με ανεμιστήρα κατάθλιψης

Η κατασκευή αυτή παρουσιάζει τα λιγότερα έξοδα, χρειάζεται όμως σχετικά πολύ χώρο. Προτιμάται στη χημική και πετροχημική βιομηχανία, κυρίως σε χημικές βιομηχανίες λόγω των ευνοϊκών δυνατοτήτων καθαρισμού των σωλήνων. Η κατασκευή με ανεμιστήρα αναρρόφησης χρησιμοποιείται μόνο σε περιορισμένες περιπτώσεις, διότι η διάταξη του ανεμιστήρα στην πλευρά αναρρόφησης προκαλεί υψηλά έξοδα λειτουργίας λόγω του μεγαλύτερου όγκου του θερμαινόμενου αέρα.

γ) Ψύκτης αέρα με κατασκευή οροφής

Τα στοιχεία του εναλλάκτη θερμότητας διατάσσονται λοξά σαν μια οροφή. Η εγκατάσταση απαιτεί λιγότερο χώρο απ' ό τι η οριζόντια κατασκευή.

Η χρήση πτερυγιοφόρων σωλήνων γίνεται για λόγους καθαρά θερμοτεχνικούς λόγω του χαμηλού συντελεστή μεταβίβασης θερμότητας του αέρα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ξηρών πύργων ψύξης με άμεσο ψύκτη είναι:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

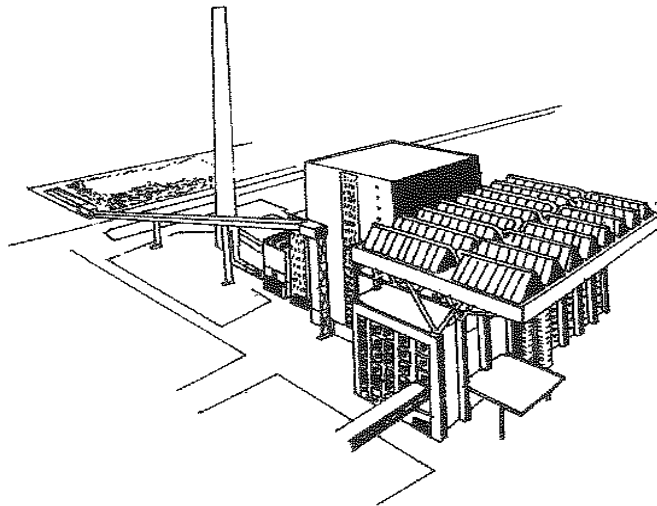
1) Δεν δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον.

- 2) Δεν υπάρχει καμία τοπική εξάρτηση.
- 3) Καθόλου διαβρώσεις.
- 4) Δεν έχει προβλήματα η λειτουργία λόγω πάγου ή χαλαζιού.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Σχετικά υψηλά έξοδα εγκατάστασης με χαμηλά όμως έξοδα λειτουργίας στην περίπτωση πύργου ψύξης με φυσική κυκλοφορία.
- 2) Μεγάλη σχετικά απαίτηση επιφάνειας ($27\text{m}^2/\text{MW}$).
- 3) Μεγάλες διαστάσεις για τους αγωγούς οδήγησης του ατμού.
- 4) Σημαντικός θόρυβος των ανεμιστήρων (70dB σε 50m απόσταση).

Γενικά είναι η λύση που προτείνεται για θερμικούς σταθμούς μέχρι 300 MW. Κλασική κατασκευή συστήματος ξηρής ψύξης τύπου οροφής είναι και ο ξηρός πύργος ψύξης για μια ισχύ στροβίλου 160 MW στο θερμικό σταθμό Utrillas στην Ισπανία, όπως φαίνεται σχηματικά παρακάτω στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12 Ξηρός πύργος ψύξης οροφής

5.4.3 ΕΜΜΕΣΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΞΗΡΗΣ ΨΥΞΗΣ (ΣΥΣΤΗΜΑ HELLER)

Είναι μία παραλλαγή της άμεσης ψύξης. Εδώ ο ατμός του στροβίλου συμπυκνώνεται σε έναν συμπυκνωτή με έγχυση νερού. Ποσότητα νερού ίση με τη ποσότητα του ατμού του στροβίλου οδηγείται πίσω στο θερμικό κύκλωμα, ενώ η παραμένουσα πολύ μεγαλύτερη ποσότητα οδηγείται στα στοιχεία των πτερυγιοφόρων σωλήνων που ψύχονται με αέρα.

Το ψυχόμενο νερό που χρησιμοποιείται πάλι σαν νερό έγχυσης, επειδή αναμιγνύεται με το συμπλήρωμα πρέπει να έχει ποιότητα τροφοδοτικού νερού. Επειδή όμως κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα δεν προκύπτει, εκτός από τα έξοδα μιας αρχικής κατεργασίας καμία πρακτικά επιπλέον δαπάνη.

Στους πυρηνικούς σταθμούς πρέπει αντί του συμπυκνωτή έγχυσης να χρησιμοποιείται ένας επιφανειακός συμπυκνωτής, διότι λόγοι ασφαλείας υπαγορεύουν δύο ξεχωριστά κυκλώματα.

Ο συμπυκνωτής με έγχυση έχει σκοπό την πλήρη συμπύκνωση του ατμού που εγκαταλείπει τον στρόβιλο με όσο το δυνατόν μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξόδου συμπυκνώματος και εισόδου νερού ψύξης. Στην πράξη όμως δεν είναι πάντα δυνατή η επίτευξη του κενού που αντιστοιχεί ακριβώς στην πίεση κορεσμού της θερμοκρασίας εξόδου του ψυκτικού νερού. Για το λόγο αυτό το ψυκτικό νερό πρέπει να ψύχεται στον πύργο μέχρι τη θερμοκρασία έγχυσης που αντιστοιχεί στην ανωτέρω

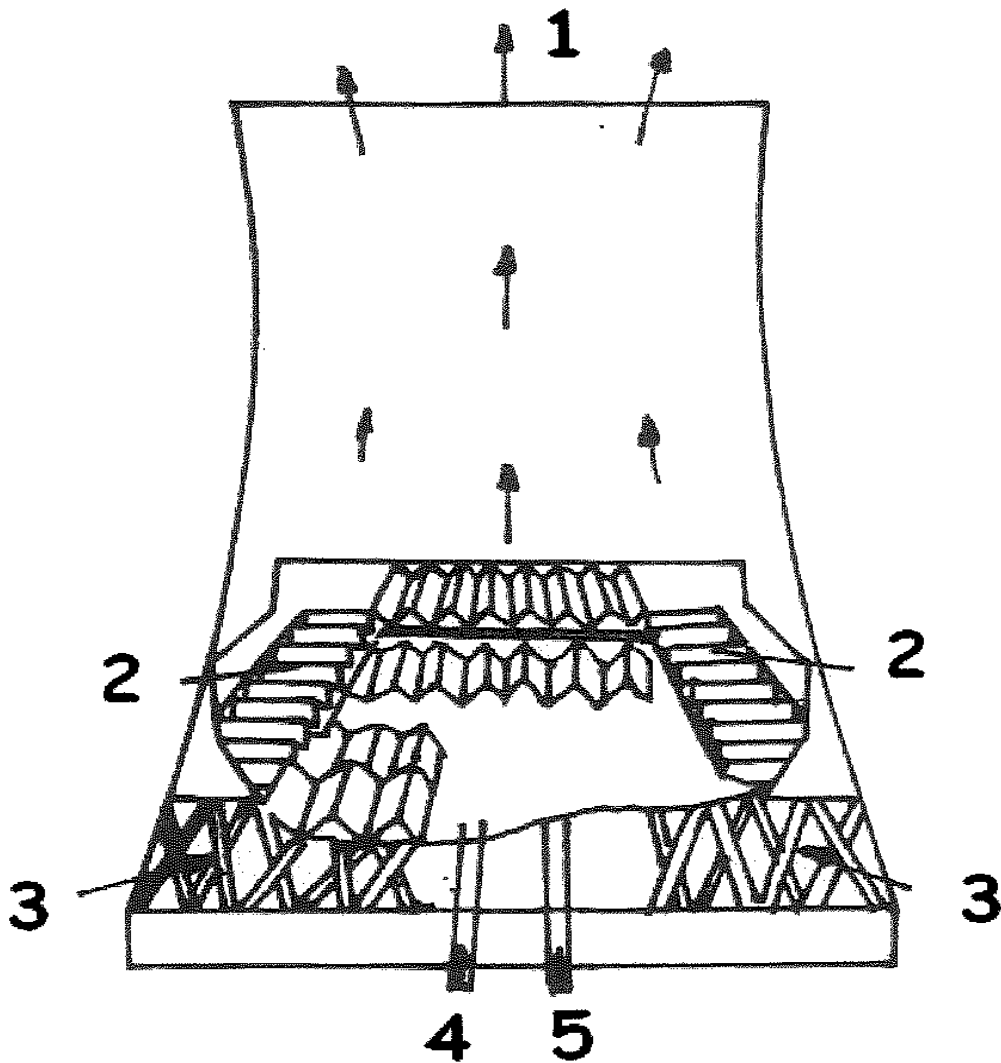
αναφερθείσα διαφορά θερμοκρασίας. Σε καλούς συμπυκνωτές ψεκασμού η διαφορά αυτή θερμοκρασίας πλησιάζει περίπου το μηδέν.

Οι αντλίες κυκλοφορίας κυκλοφορούν το ψυκτικό νερό σε ένα κλειστό κύκλωμα, το οποίο αρχίζει από το συμπυκνωτή έγχυσης, περνά μέσα από τα ψυκτικά στοιχεία του ξηρού πύργου ψύξης και επιστρέφει στο συμπυκνωτή έγχυσης. Προς αποφυγή εισόδου αέρα λόγω έλλειψης στεγανότητας στα ψυκτικά στοιχεία, ο υπολογισμός των αντλιών γίνεται κατά έναν τέτοιο τρόπο ώστε στο υψηλότερο σημείο των στοιχείων εναλλαγής θερμότητας να επικρατεί μια πίεση λίγο ανώτερη της πίεσης του περιβάλλοντος. Η υπάρχουσα διαφορά πίεσης που αντιστοιχεί στη διαφορά ύψους μεταξύ θέσης των ψυκτικών στοιχείων στον πύργο και το συμπυκνωτή έγχυσης εξαλείφεται με τις μικρές διαστάσεις των σωλήνων και με διαφράγματα μεγάλης πτώσης πίεσης ή μπορεί ακόμα να γίνει εκμετάλλευση αυτής σε έναν στρόβιλο. Η απόφαση για το ποια μέθοδος θα εκλεγεί λαμβάνεται μετά από οικονομικοτεχνική μελέτη.

Τα ψυκτικά στοιχεία κατασκευάζονται όπως περίπου στην περίπτωση του άμεσου συστήματος. Στον πύργο ψύξης προσπαθεί κανείς να χρησιμοποιήσει για οικονομικούς λόγους τη φυσική κυκλοφορία (χωρίς ανεμιστήρες).

Προτιμούνται πύργοι ψύξης σε σχήμα υπερβολής, οι οποίοι έχουν την πιο ευνοϊκή στατική κατασκευή για πύργους από ΒΕΤΟΝ.

Τα στοιχεία ψύξης διατάσσονται κατακόρυφα ή οριζόντια, όπως και στην άμεση ψύξη. Στην κατακόρυφη διάταξη ευρίσκονται τα στοιχεία στην περίμετρο του πύργου. Στην οριζόντια διάταξη ευρίσκονται σε σχήμα στέγης σε μια επιφάνεια διατομής του πύργου (Σχήμα 13).



Σχήμα 13 Οριζόντια διάταξη των ψυκτικών στοιχείων ενός ξηρού πύργου ψύξης. 1. Θερμός Αέρας, 2. Στοιχεία Ψύξης, 3. Ψυχρός Αέρας, 4. Είσοδος του νερού ψύξης, 5. Έξοδος του νερού ψύξης

Η συμπεριφορά λειτουργίας του ξηρού πύργου ψύξης επηρεάζεται πολύ από τη θερμοκρασία αέρα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ξηρών πύργων ψύξης με έμμεση ψύξη είναι:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Σύστημα ανεξάρτητο του τόπου εγκατάστασης του πύργου ψύξης.
- 2) Κατάλληλο για θερμικούς σταθμούς μεγάλης ισχύος.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- 1) Υψηλά έξοδα εγκατάστασης.
- 2) Μεγάλη απαιτούμενη επιφάνεια για την εγκατάσταση του πύργου ($35 \text{ m}^2/\text{MW}$).

Στη συνέχεια παρατίθεται μια σύνοψη για τους υγρούς και ξηρούς πύργους ψύξης για ένα θερμικό σταθμό, Πίνακας 5, και ένας συγκριτικός πίνακας με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πύργων ψύξης, Πίνακας 6.

Πίνακας 5. Σύνοψη υγρών και ξηρών πύργων ψύξης για ένα θερμικό σταθμό.

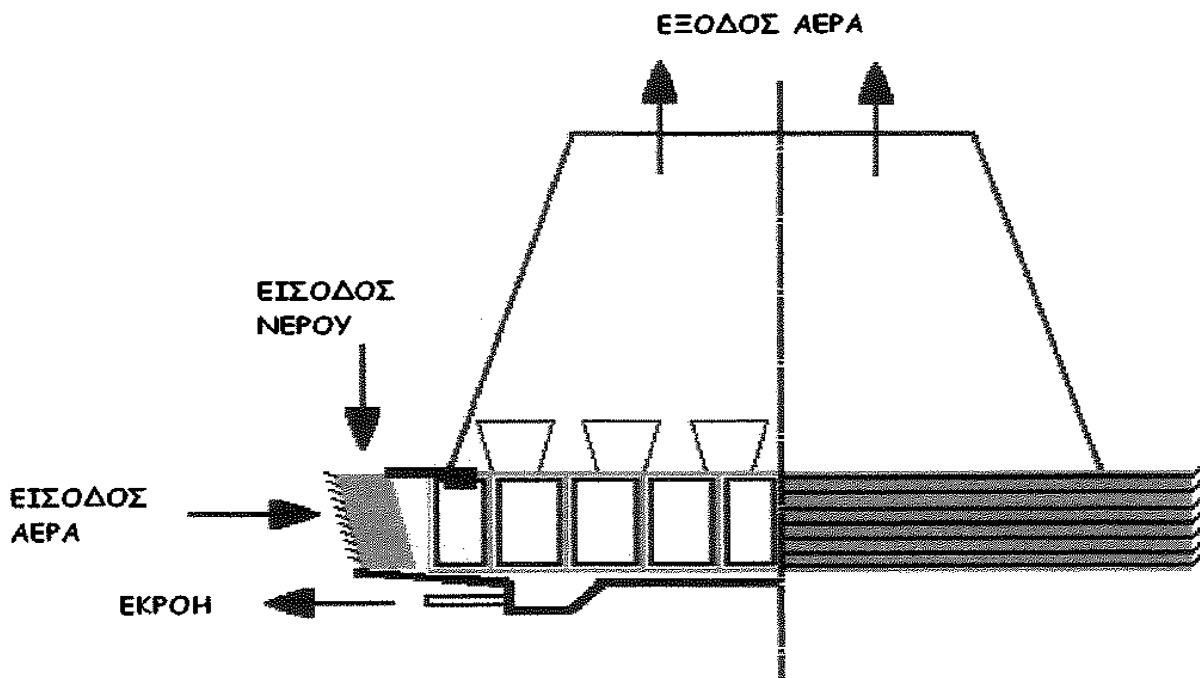
	ΥΓΡΗ ΨΥΞΗ		ΞΗΡΗ ΨΥΞΗ	
Διαδικασία	Ψύξη με νερό ποταμού	Υγρός πύργος ψύξης	Άμεση ψύξη	Έμμεση ψύξη
Ψυκτικό μέσο	Νερό	Νερό	Αέρας	Αέρας/Νερό
Οδήγηση του νερού ψύξης	σε διάβαση	σε ανοικτή κυκλοφορία	-	σε κλειστή κυκλοφορία
Διατάξεις του συστήματος ψύξης	Επιφανειακός συμπυκνωτής	Επιφανειακός συμπυκνωτής Υγρός πύργος ψύξης	Συμπυκνωτής αέρα	Συμπυκνωτής ανάμιξης Ξηρός πύργος ψύξης
Θερμοκρασία νερού-Είσοδος	8 - 15 (1) 22 25 2)	17 - 22 (1) 20 27 (2)		
Θερμοκρασία νερού-Έξοδος	30(3)			
Θερμοκρασία αέρα-		12	15	15
Παρατηρήσεις	1) Μέση ετήσια θερμοκρασία για την Ευρώπη τον χειμώνα. 2) Η μεγαλύτερη κατά το θέρος. 3) Περιορίζεται για λόγους οικολογίας.			

Πίνακας 6. Συγκριτικός πίνακας Πλεονεκτημάτων - Μειονεκτημάτων πύργων ψύξης.

Ψύξη με θαλάσσιο ή ποταμίσιο νερό	Υγρός πύργος ψύξης	Άμεση ξηρή ψύξη	Έμμεση ξηρή ψύξη με πύργους ψύξης
Πλεονεκτήματα	Πλεονεκτήματα	Πλεονεκτήματα	Πλεονεκτήματα
<p>1) Σχετικά οικονομική συμπύκνωση του ατμού.</p>	<p>1) Αποφυγή θερμικής φόρτισης των υδάτων.</p> <p>2) Μικρή εξάρτηση του τόπου κατασκευής από τόπο που υπάρχει το ψυκτικό νερό.</p>	<p>1) Δεν δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον.</p> <p>2) Καμία τοπική εξάρτηση.</p> <p>3) Δεν υπάρχουν διαβρώσεις.</p>	<p>1) Κατάλληλος για Θερμικούς Σταθμούς Μεγάλης ισχύος και καμία εξάρτηση του Θερμικού Σταθμού από τον τόπο εγκατάστασης του πύργου ψύξης.</p>
Μειονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>1) Απαιτούνται τεράστιες ποσότητες νερού.</p> <p>2) Περιορισμένη φόρτιση του νερού από οικολογικούς λόγους.</p> <p>3) Θερμικοί Σταθμοί πλησίον ποταμών.</p> <p>4) Μεγάλος κίνδυνος από διαβρώσεις και επικαθίσεις αλάτων.</p>	<p>1) Υψηλά έξοδα εγκατάστασης.</p> <p>2) Υψηλά έξοδα λειτουργίας λόγω προσθήκης νέου νερού.</p> <p>3) Η εξάτμιση προκαλεί προβλήματα στο περιβάλλον.</p> <p>4) Κίνδυνος διάβρωσης του κυκλώματος ψύξης.</p>	<p>1) Υψηλά έξοδα εγκατάστασης και χαμηλά έξοδα λειτουργίας (για πύργους φυσικής κυκλοφορίας). Το αντίθετο συμβαίνει για πύργους βεβιασμένης κυκλοφορίας.</p>	<p>1) Υψηλά έξοδα εγκατάστασης.</p>

5.5 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΠΥΡΓΟΙ

Οι υβριδικοί πύργοι (Σχήμα 14) φαίνονται να είναι πύργοι φυσικής κυκλοφορίας με κοντές καμινάδες. Αλλά όπως φαίνεται στο Σχήμα 14, είναι εξοπλισμένοι με ανεμιστήρες για να αυξάνουν τη ροή τον αέρα. Οι υβριδικοί πύργοι μερικές φορές αναφέρονται ως πύργοι φυσικής κυκλοφορίας βοηθούμενοι από ανεμιστήρες.



Σχήμα 14 Τομή πύργου φυσικής κυκλοφορίας βοηθούμενου από ανεμιστήρα

Ο αρχικός σκοπός του υβριδικού πύργου είναι να ελαχιστοποιήσει την ισχύ που απαιτείται για τη μετακίνηση αέρα, με το μικρότερο πιθανό αντίκτυπο στο κόστος των καμινάδων. Οι ανεμιστήρες π.χ., ίσως χρειάζεται να λειτουργούν μόνο κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλής φόρτισης ή υψηλών

Θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Σε περιοχές όπου μια χαμηλού επιπέδου αποβολή αερίων μπορεί να μην είναι αποδεκτή, η υπερυψωμένη αποβολή τους από πύργο φυσικής κυκλοφορίας βοηθημένου από ανεμιστήρα μπορεί να είναι κατάλληλη. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές είναι επίσης μια πιθανή λύση.

5.6 ΦΙΛΤΡΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ & ΣΙΤΕΣ

Όπως τονίζεται σε πολλά σημεία αυτής της εργασίας η ορθή και αποδοτική λειτουργία του ψυκτικού κύκλου είναι πολύ σημαντική για μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Στα πλαίσια μέτρων προστασίας του κυκλώματος του ψυκτικού νερού από τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, που προέρχονται κυρίως από το συμπληρωματικό νερό, το νερό ανακυκλοφορίας και το περιβάλλον (λιγνιτόσκονη), τοποθετούνται κάποια φίλτρα, τα επονομαζόμενα και φίλτρα βαρύτητας (Σχήμα 15 και 16), με σκοπό τη μείωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών (π.χ. <math><15\text{ppm}</math>). Ουσιαστικά τα φίλτρα αυτά λειτουργούν με διήθηση.

Κατά τη διήθηση το νερό διαβιβάζεται μέσα από ένα παχύ στρώμα πορώδους υλικού (π.χ. στρώμα άμμου), οπότε τα αιωρούμενα στερεά συγκρατούνται μέσα στο χώρο του πορώδους υλικού (διηθητικό στρώμα) και το νερό εξέρχεται καθαρό. Διακρίνονται τρεις βασικοί τρόποι διήθησης:

- Αργή διήθηση διαμέσου κλίνης άμμου: Ιστορικά είναι ο παλαιότερος τρόπος διήθησης. Ο τρόπος αυτός μιμείται το φυσικό τρόπο διήθησης του νερού διαμέσου των στρωμάτων του εδάφους. Η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγάλη επιφάνεια διήθησης λόγω της μικρής ταχύτητας.

- Ταχεία διήθηση διαμέσου κλίνης άμμου: Τα φίλτρα αυτά λειτουργούν με μεγαλύτερη ταχύτητα και για αυτό απαιτούν μικρότερη επιφάνεια. Μέτρο της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας των φίλτρων αυτών είναι η κατακράτηση στερεών ανά μονάδα όγκου διηθητικής κλίνης, η οποία απόδοση είναι αρκετά μικρή. Για το λόγο αυτό γίνεται προσπάθεια εντατικοποίησης της απόδοσης με τα πολυστρωματικά φίλτρα.

- Ταχεία διήθηση διαμέσου πολυστρωματικών φίλτρων: Με τα πολυστρωματικά φίλτρα επιδιώκεται η αύξηση του διατιθέμενου χώρου για την απόθεση των στερεών μέσα στις κλίνες. Αυτό γίνεται έχοντας κλίση με πολλές στρωματώσεις από υλικά διάφορης κοκκομετρίας. Σημαντικό είναι οι κλίνες να κρατούν τη θέση τους κατά την ανάστροφη πλύση. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη εκλογή της κοκκομετρικής σύστασης και του ειδικού βάρους του υλικού κάθε κλίνης.



Σχήμα 15 Πραγματική διάταξη φίλτρων βαρύτητας στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας

Από τα φίλτρα βαρύτητας διηθίζεται το 5 με 10% του ψυκτικού νερού, με σκοπό σε εύλογο χρονικό διάστημα, ανάλογα με τη μονάδα και τις απαιτήσεις αυτής, όλο το ψυκτικό νερό να περάσει από φιλτράρισμα. Τα φίλτρα αυτά λειτουργούν με την υδροστατική πίεση. Μέσω σωληνώσεων μέρος του ψυκτικού νερού εκτρέπεται προς το άνω μέρος των φίλτρων. Από ένα «ποτήρι», που διατηρεί την διαφορά πίεσης, η ροή του νερού ακολουθεί καθοδική πορεία μέσω των διαβαθμισμένων στρωμάτων της κλίνης. Από τον πάτο των φίλτρων, και χάρη στην υδροστατική πίεση, από το κέντρο του φίλτρου ανέρχεται και εξέρχεται καθαρό από τη διάταξη μέσω άλλων σωληνώσεων.



Σχήμα 16 Πραγματική διάταξη φίλτρων βαρύτητας στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας - Προσαγωγή νερού

Όταν η συγκέντρωση των σωματιδίων αυξηθεί πολύ μέσα στις κλίνες ένας διαφορικός πιεσοστάτης, που μετρά τη διαφορά πίεσης του νερού εισόδου - εξόδου στο φίλτρο και με βάση την επιθυμητή διαφορική πίεση, δίνει εντολή για να αρχίσει αυτόματα ο καθαρισμός του φίλτρου, ενώ παράλληλα το νερό δεν διέρχεται από τα πλάγια της διάταξης αλλά από το κέντρο. Με αυτό τον

τρόπο αρχίζει να διέρχεται ανάποδα, αντίστροφη ροή, διαμέσου των στρωμάτων της κλίνης με αποτέλεσμα να απομακρύνεται η λάσπη που έχει δημιουργηθεί μέσω ειδικής διάταξης απομάκρυνσης αυτής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο αυτόματος καθαρισμός των φίλτρων βαρύτητας χωρίς τη χρήση καμίας ηλεκτροβάνας. Η μονάδα του ΑΗΣ ΛΚΤΤ -Α δεν διαθέτει τέτοια φίλτρα.

Παράλληλα με τα φίλτρα βαρύτητας, στη λεκάνη του πύργου ψύξης χρησιμοποιούνται και σίτες (Σχήμα 17) στην περιοχή αναρρόφησης με σκοπό την απομάκρυνση μεγάλων κομματιών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στις τροφοδοτικές αντλίες.



Σχήμα 17 Πραγματική διάταξη σιτών αναρρόφησης στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας

6. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΥΚΛΟΥ ΨΥΞΗΣ: ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ

Οι συσκευές μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιούνται για την υγροποίηση των ατμών με απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας τους ονομάζονται συμπυκνωτές. Η λανθάνουσα θερμότητα απομακρύνεται απορροφώντας την σε ένα ψυχρότερο υγρό, που ονομάζεται μέσο ψύξης ή ψυκτικό μέσο ή απλά ψυκτικό. Επειδή η θερμοκρασία ενός ψυκτικού αυξάνεται μέσα σε έναν συμπυκνωτή, η μονάδα δρα και ως θερμαντήρας. Όμως, λειτουργικά, έχει μεγαλύτερη σημασία η δράση της συμπύκνωσης, όπως δηλώνει και το όνομα της συσκευής.

Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας χρησιμεύουν για τη συμπύκνωση του ατμού που βγαίνει από τον στρόβιλο. Το συμπύκνωμα με τη βοήθεια κατάλληλων αντλιών οδηγείται στη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού. Ο συμπυκνωτής δηλαδή είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου ατμός με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία συμπυκνούνται με τη βοήθεια ψυκτικού μέσου που μπορεί να είναι νερό ή αέρας.

Όσο χαμηλότερη είναι η πίεση του ατμού στο συμπυκνωτή τόσο αυξάνει ο συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, αφού αυξάνει η θερμική πτώση στο στρόβιλο. Επομένως ο συμπυκνωτής είναι βασικό τμήμα της εγκατάστασης, αλλά επίσης και ο φορέας της μεγίστης θερμικής απώλειας ενός θερμικού σταθμού αφού η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης απάγεται με το νερό ψύξης.

Σε εκκινήσεις, κρατήσεις καθώς και ξαφνικές πτώσεις φορτίων σε ευρωπαϊκούς κυρίως ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, ένα μέρος του ατμού παρακάμπτει τον στρόβιλο και μετά από μείωση της πίεσης και θερμοκρασίας του εισέρχεται στο συμπυκνωτή όπου συμπυκνούνται. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται απώλειες συμπυκνώματος ή το άνοιγμα των ασφαλιστικών βαλβίδων.

Ο συμπυκνωτής χρησιμοποιείται ακόμη σαν δοχείο συγκέντρωσης όλων των συμπυκνωμάτων των εξυδατώσεων του στρόβιλου, των συμπυκνωμάτων από τους προθερμαντές νερού χαμηλής πίεσης καθώς επίσης και του νερού συμπλήρωσης του κυκλώματος νερού-ατμού της εγκατάστασης.

6.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΜΕ ΑΠΟ ΕΝΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

1) Ο βαθμός καθαρότητας του ατμού πρέπει να διατηρείται και στο συμπύκνωμα.

2) Η κατασκευή του συμπυκνωτή πρέπει να καθιστά δυνατή την επίτευξη του κενού που καθορίζεται από τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, την αύξηση θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου και τη διαφορά θερμοκρασίας που πρέπει να υπάρχει μεταξύ συμπυκνώματος και ψυκτικού μέσου.

3) Η θερμοκρασία του συμπυκνώματος δεν πρέπει να είναι μικρότερη της θερμοκρασίας κορεσμού που αντιστοιχεί στην πίεση του ατμού, για να αποφεύγουμε μία επιπλέον απώλεια θερμότητας και ένα εμπλουτισμό του συμπυκνώματος σε οξυγόνο.

4) Το συμπύκνωμα πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερο οξυγόνο για να αποφεύγουμε τις διαβρώσεις στους προθερμαντές νερού χαμηλής πίεσης και να μπορούμε να πετύχουμε μία πλήρη απαερίωση στον απαερωτή.

5) Ο αέρας που εισέρχεται στον συμπυκνωτή από έλλειψη στεγανότητας σε φλάντζες, στυπιοθλίπτες, βαλβίδες κ.λπ., καθώς και ο αέρας που τυχόν περιέχεται στον ατμό να απομακρύνονται από το συμπυκνωτή με τη βοήθεια διαφόρων συσκευών, όπως π.χ. αντλιών κενού.

Μαζί όμως με τον αέρα φεύγουν και υδρατμοί. Το μίγμα αυτό αέρα και υδρατμών πρέπει να ψυχθεί μέσα στο συμπυκνωτή όσο το δυνατόν περισσότερο. Όσο περισσότερο ψύχεται αυτό, τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό των υδρατμών στο μίγμα και η απαιτούμενη ισχύς για την αναρρόφησή του.

6.2 ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ Ο ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ

- Τον κυρίως συμπυκνωτή
- Αντλίες ψυκτικού νερού ή ανεμιστήρες ψυκτικού αέρα
- Συσκευές αναρρόφησης του αέρα και δημιουργίας κενού.
- Σωλήνες, βαλβίδες, κ.λ.π.

6.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Ανάλογα με το ψυκτικό θα έχουμε:

1) Συμπυκνωτές με νερό σαν ψυκτικό μέσο

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στους περισσότερους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς. Η αναγκαιότητα του διαχωρισμού ψυκτικού νερού και συμπυκνώματος καθιστά επιβεβλημένη τη χρησιμοποίηση επιφανειακών συμπυκνωτών.

Διακρίνουμε εδώ την ψύξη με νερό κατευθείαν από θάλασσα, λίμνη ή ποτάμι και την ψύξη σε κλειστό κύκλωμα με εγκατάσταση ψύξης του ψυκτικού νερού (πύργοι ψύξης, κ.λπ.).

2) Συμπυκνωτές με αέρα σαν ψυκτικό μέσο

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε μέρη όπου το νερό είναι πολύ σπάνιο. Διακρίνουμε εδώ την άμεση συμπύκνωση, όπου χρησιμοποιούμε αερόψυκτους επιφανειακούς συμπυκνωτές, και την έμμεση συμπύκνωση όπου χρησιμοποιούμε υδρόψυκτους συμπυκνωτές με ψεκασμό νερού με ψύξη του ψυκτικού νερού σε αερόψυκτους επιφανειακούς εναλλάκτες θερμότητας.

6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΩΝ

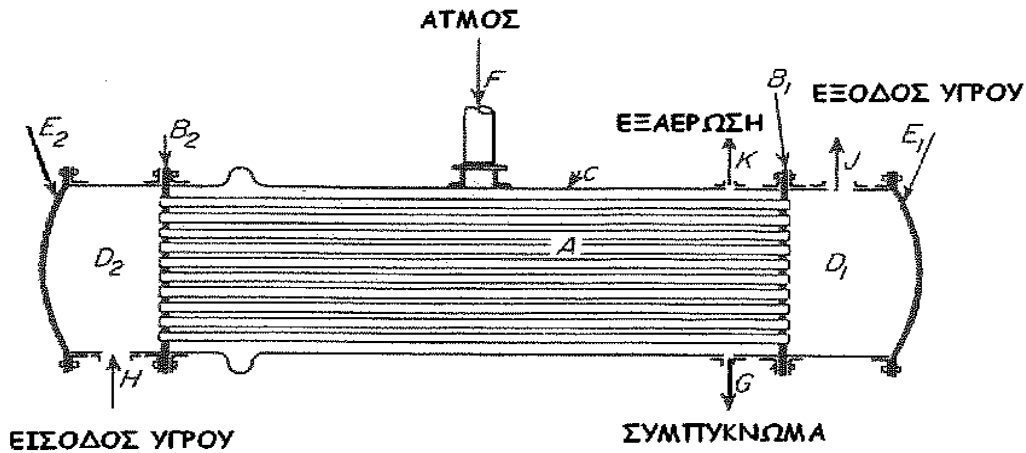
Οι συμπυκνωτές ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι συμπυκνωτές κελύφους-αυλών, όπου ανάμεσα στον ατμό που συμπυκνώνεται και το ψυκτικό παρεμβάλλεται μια αυλοειδής επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι συμπυκνωτές επαφής, όπου το ρεύμα του ατμού και το ρεύμα του ψυκτικού (συνήθως και τα δύο είναι νερό) αναμιγνύονται με φυσικό τρόπο και εξέρχονται από το συμπυκνωτή ως ένα ρεύμα.

Στη βιομηχανία τα υγρά εξατμίζονται σε αναβραστήρες τύπου kettle ή σε συσκευές τύπου calandria. Η θερμότητα που απαιτείται για την εξατμισμό προέρχεται συνήθως από τη συμπύκνωση υδρατμού.

6.4.1 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΑΥΛΩΝ

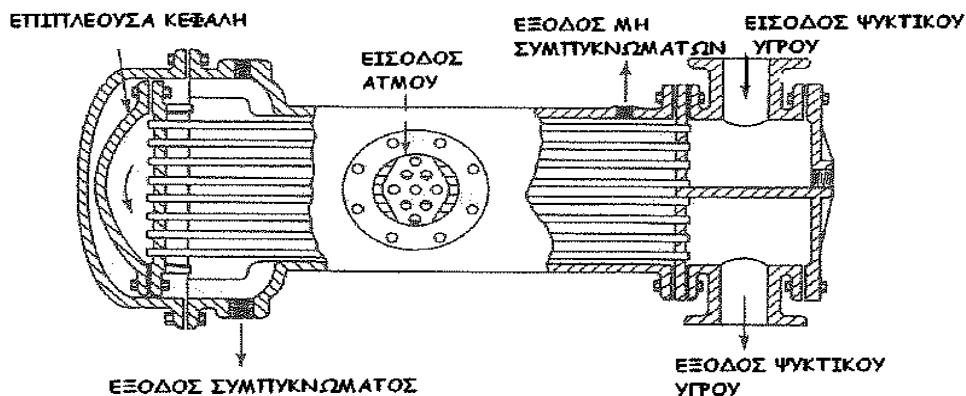
Ο συμπυκνωτής που παρουσιάζεται στο Σχήμα 18 είναι μια μονάδα απλής διαδρομής, αφού όλο το ρεύμα του ψυκτικού υγρού ρέει μέσα από όλους τους αυλούς παράλληλα. Σε μεγάλους συμπυκνωτές αυτού του είδους η ροή έχει ένα σοβαρό περιορισμό. Ο αριθμός των αυλών είναι τόσο μεγάλος, ώστε κατά τη ροή σε μία διαδρομή η ταχύτητα μέσα στους αυλούς είναι πολύ μικρή για να αποδώσει έναν ικανοποιητικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και η μονάδα είναι αντισοικονομικά μεγάλη. Επίσης, εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή απαιτούνται αυλοί με μεγάλο μήκος - αν το ψυκτικό ρευστό

πρόκειται να θερμανθεί μέσα σε μια λογικά μεγάλη περιοχή θερμοκρασίας- και τέτοιοι μεγάλοι αυλοί δεν είναι πρακτικοί.



Σχήμα 18 Αυλοφόρος συμπυκνωτής απλής διαδρομής. **A:** αυλοί, **B₁, B₂:** καθρέφτες αυλών, **C:** κέλυφος, **D₁, D₂:** κανάλια, **E₁, E₂:** καλύμματα καναλιών, **F:** είσοδος ατμού, **G:** έξοδος συμπυκνώματος, **H:** είσοδος ψυχρού υγρού, **J:** έξοδος θερμού υγρού, **K:** εξαέρωση μη συμπυκνούμενου αερίου

Για να επιτευχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες, μεγαλύτεροι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και για να έχουν οι αυλοί μικρότερο μήκος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί η αρχή των πολλαπλών διαδρομών που χρησιμοποιείται στους εναλλάκτες θερμότητας για το ψυκτικό σε ένα συμπυκνωτή. Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός συμπυκνωτή δύο διαδρομών.



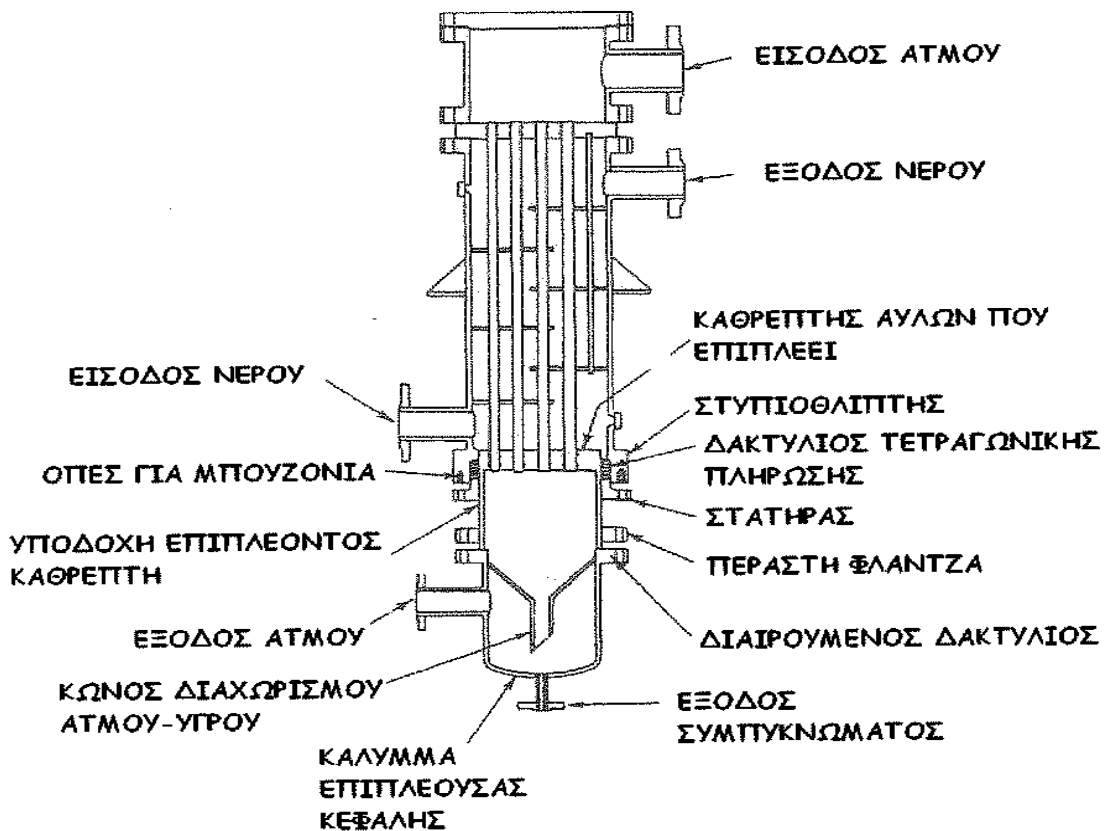
Σχήμα 19 Συμπυκνωτής δύο διαδρομών

6.4.1.1 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Λόγω των διαφορών θερμοκρασίας που υπάρχουν στους συμπυκνωτές, μπορεί να δημιουργηθούν σημαντικές τάσεις λόγω διαστολής, οι οποίες να αλλοιώσουν τη θέση των αυλών ή να τους κάνουν να χαλαρώσουν από τους καθρέπτες. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος να αποφευχθεί η ζημιά λόγω διαστολής είναι να χρησιμοποιηθεί η διάταξη πλωτής κεφαλής, στην οποία ένας από τους καθρέπτες (άρα και ένα άκρο των αυλών) είναι κατασκευαστικά ανεξάρτητο από το κέλυφος. Η αρχή αυτή εφαρμόζεται στο συμπυκνωτή του Σχήματος 19. Στο Σχήμα 19 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να διασταλούν ή να συσταθούν οι αυλοί, ανεξάρτητα από το κέλυφος. Πάνω από την είσοδο του ατμού τοποθετείται ένας διάτρητος δίσκος, για να προληφθεί η αλλοίωση των αυλών από σταγόνες υγρού που μπορεί να μεταφερθούν από τον ατμό.

6.4.2 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗΣ

Στο Σχήμα 20 παρουσιάζεται ένας συμπυκνωτής που χρησιμοποιείται για μίγματα ατμών και μη συμπυκνώσιμων αερίων. Ο συμπυκνωτής αυτός τοποθετείται κατακόρυφα και όχι οριζόντια, όπως οι περισσότεροι συμπυκνωτές ατμού που δεν περιέχουν μη συμπυκνώσιμο αέριο. Επίσης ο ατμός συμπυκνώνεται μέσα στους αυλούς και όχι έξω από αυτούς, ενώ το ψυκτικό ρέει μέσα στο κέλυφος. Έτσι δημιουργείται μια θετική σάρωση του μίγματος ατμού-αερίου μέσα από τους αυλούς και αποφεύγεται ο σχηματισμός στατικών θυλάκων αδρανούς αερίου.

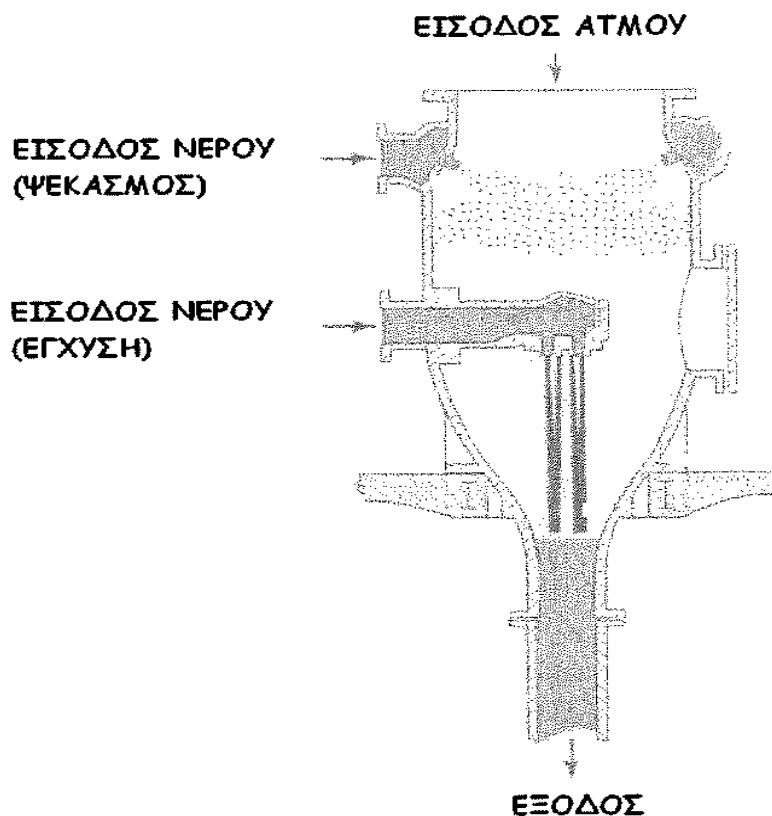


Σχήμα 20 Ψύκτης - Συμπυκνωτής Αφύγρανσης

6.4.3 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ

Στο Σχήμα 21 παρουσιάζεται ένας συμπυκνωτής επαφής. Οι συμπυκνωτές επαφής είναι πολύ μικρότεροι και φθηνότεροι από τους συμπυκνωτές επιφάνειας. Στον τύπο του Σχήματος 21 ένα μέρος του ψυκτικού νερού ψεκάζεται στο ρεύμα του ατμού κοντά στην είσοδο του ατμού, ενώ το υπόλοιπο κατευθύνεται σε μια χοάνη απομάκρυνσης, για να ολοκληρωθεί η συμπύκνωση. Όταν ένας συμπυκνωτής κελύφους-αυλών λειτουργεί υπό κενό, το συμπύκνωμα συνήθως αντλείται έξω όμως μπορεί να απομακρυνθεί με τη βοήθεια ενός βαρομετρικού βραχίονα. Πρόκειται για έναν κατακόρυφο αυλό μήκους περίπου 10 m (34 ft), με σφραγισμένο το κάτω μέρος από μια δεξαμενή όπου συλλέγεται το συμπύκνωμα. Κατά τη λειτουργία η στάθμη του

υγρού στο βραχίονα ρυθμίζεται αυτόματα από μόνο του, έτσι ώστε η διαφορά σε μανομετρικό ύψος ανάμεσα στις στάθμες στο βραχίονα και στη δεξαμενή να αντιστοιχεί στη διαφορά πίεσης ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και στο χώρο του ατμού στο συμπυκνωτή. Τότε το υγρό ρέει μέσα στο βραχίονα όσο γρήγορα συμπυκνώνεται, χωρίς να χαλάει το κενό. Σε ένα συμπυκνωτή άμεσης επαφής η ανάκτηση της πίεσης στον κατάντη κώνο του Venturi είναι συχνά αρκετή και δεν υπάρχει ανάγκη για βαρομετρικό βραχίονα.



Σχήμα 21 Συμπυκνωτής Επαφής

7. ΨΥΚΤΙΚΟ ΝΕΡΟ: ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥΣ

Τέσσερα είναι τα κλασσικά προβλήματα που συναντιούνται στο ψυκτικό νερό:

ΔΙΑΒΡΩΣΗ: Τα μεταλλικά υλικά από τα οποία αποτελούνται διάφορα μέρη του συστήματος ψύξης, όπως είναι ο χάλυβας, και η όλη κατεργασία τους εμπεριέχει την απομάκρυνση οξυγόνου από το μέταλλευμα. Τα συστήματα ψύξης με νερό παρέχουν το ιδανικότερο περιβάλλον για τη διάβρωση των μετάλλων αυτών.

ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ: Μεταλλικά στοιχεία όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο, είναι σχετικά αδιάλυτα στο νερό και για αυτό μπορούν να δημιουργήσουν επικαθίσεις, όταν βρίσκονται στις συνήθεις συνθήκες στα συστήματα ψύξης με νερό.

ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ: Η καθίζηση απελευθερωμένων υλικών στον εναλλάκτη θερμότητας ονομάζεται απόθεση. Τα στοιχεία που καθιζάνουν μπορεί να προέρχονται από εξωτερικές πηγές όπως η σκόνη γύρω από ένα πύργο ψύξης ή και από εσωτερικές πηγές όπως είναι τα προϊόντα της διάβρωσης.

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ: Τα συστήματα ψύξης με νερό παρέχουν το ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό βακτηρίων, τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα επικαθίσεων στον εξοπλισμό των εναλλακτών θερμότητας.

Τα παραπάνω κλασσικά προβλήματα εάν δεν αντιμετωπίζονται, τότε τα συστήματα ψύξης με νερό θα παρέχουν ένα ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη τους. Οι αρνητικές επιδράσεις αυτών των προβλημάτων συνοψίζονται στα εξής:

- Αυξημένο κόστος συντήρησης της εγκατάστασης
- Μειωμένη αποδοτικότητα μετάδοσης θερμότητας και επομένως και αυξημένες ενεργειακές απώλειες
- Πιθανές περιοδικές ή ακόμη και μόνιμες διακοπές λειτουργίας της μονάδας

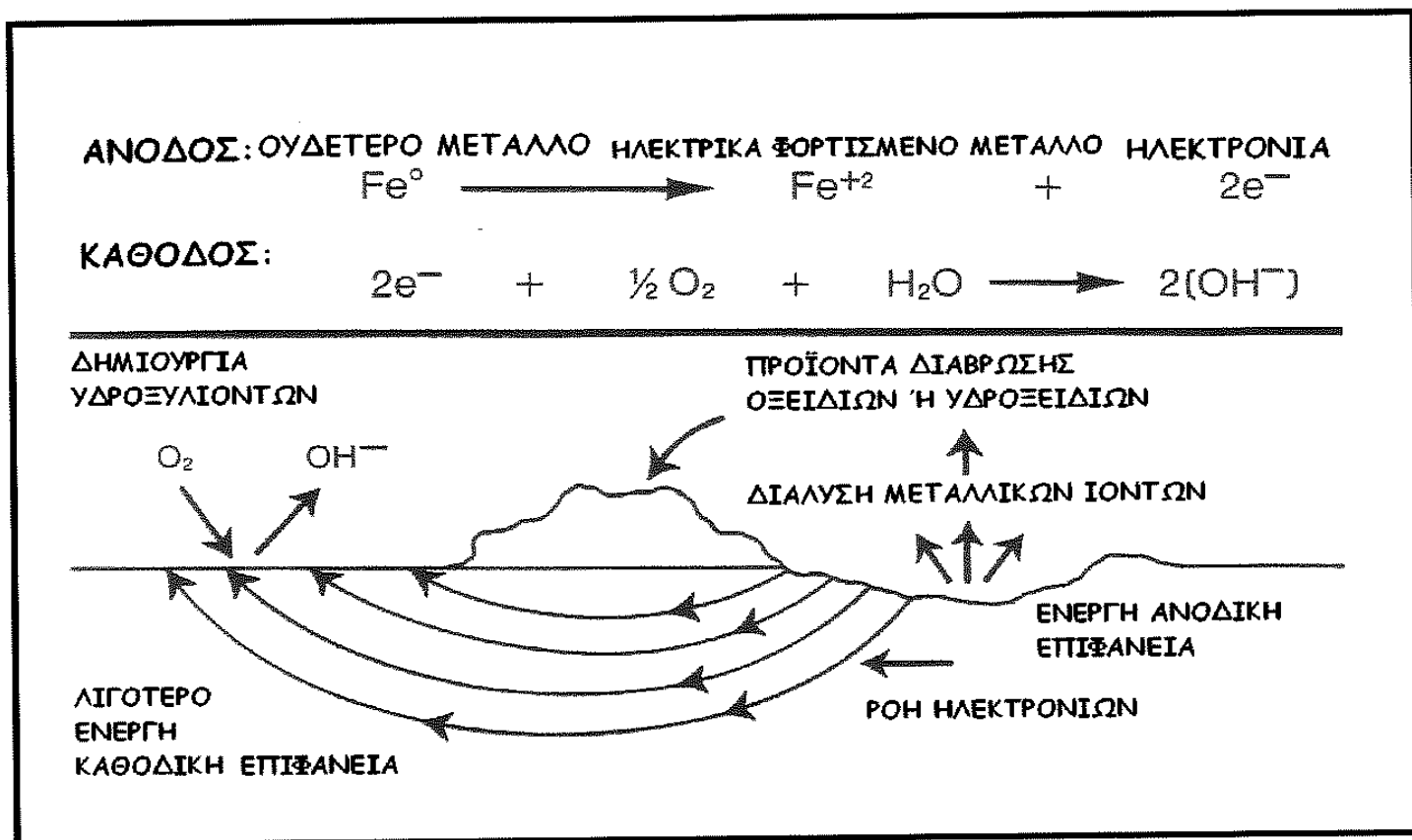
Πιο συγκεκριμένα, στη συνέχεια θα αναλυθούν τα τέσσερα αυτά προβλήματα.

7.1 ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η διάβρωση είναι μια ηλεκτροχημική διεργασία με βάση την οποία τα μέταλλα έχουν την τάση να επιστρέφουν στην φυσική τους κατάσταση. Για παράδειγμα, ο χάλυβας, που είναι ένα μέταλλο που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα συστήματα ψύξης με νερό, είναι πολύ ευάλωτος στη διάβρωση.

Τα μεταλλικά ιόντα διαλύονται στον ηλεκτρολύτη, το νερό δηλαδή, στην άνοδο. Με τον τρόπο αυτό τα ηλεκτρικά φορτισμένα ηλεκτρόνια μένουν πίσω. Τα ηλεκτρόνια αυτά μετακινούνται προς άλλα σημεία (κάθοδος) όπου λαμβάνουν χώρα οξειδωτικές αντιδράσεις. Το αποτέλεσμα αυτής της

δραστηριότητας είναι η οξείδωση του μετάλλου και η διαμόρφωση της σκουριάς. Η όλη διαδικασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 22.



Σχήμα 22 Διεργασία διαμόρφωσης διαβρωτικών υλικών

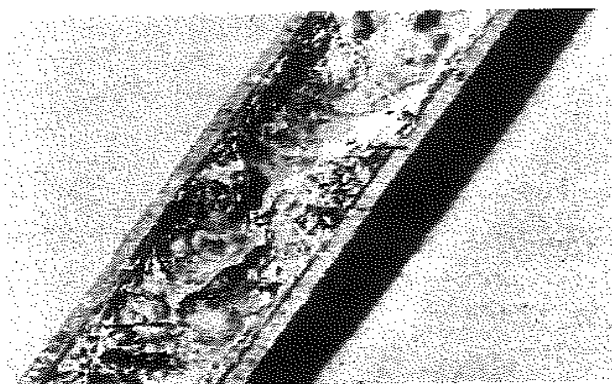
7.1.1 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Ο χαλκός, τα κράματα αλουμινίου και ο ανοξειδωτος σίδηρος, γενικά, διαβρώνονται πιο αργά από το χάλυβα. Παρόλα αυτά, τα συγκεκριμένα μέταλλα σε κάποια νερά, μπορεί να διαβρωθούν τοπικά (localized or pitting corrosion). Επιπρόσθετα, διαλυμένα αέρια, όπως το H_2S και η NH_3 , επιδρούν πολύ πιο καταστρεπτικά στα παραπάνω μέταλλα από ότι στο χάλυβα.

7.1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

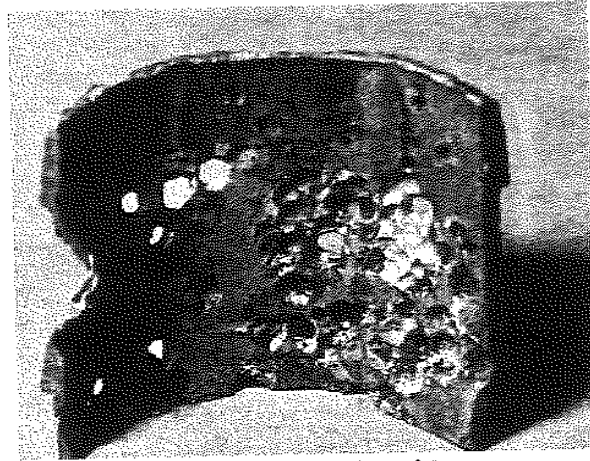
Υπάρχουν διάφορες μορφές διάβρωσης οι οποίες επιγραμματικά συναντώνται με τις εξής ονομασίες: γενική διάβρωση, τοπική διάβρωση (localized or pitting corrosion) και γαλβανική διάβρωση. Πιο συγκεκριμένα:

ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ: Η περίπτωση αυτή (Σχήμα 23) συναντάται όταν η διάβρωση είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου. Το ποσό του οξειδίου του σιδήρου που απελευθερώνεται από την γενικευμένη διάβρωση συντελεί στα προβλήματα επικαθίσεων.



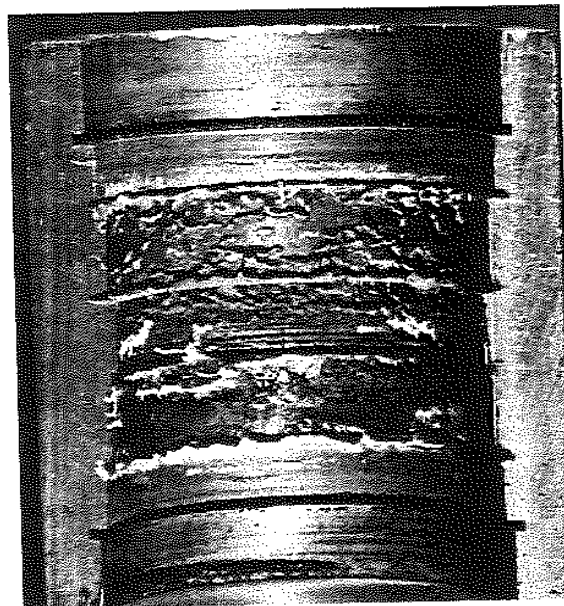
Σχήμα 23 Γενική διάβρωση

ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ (LOCALIZED OR PITTING CORROSION): Η μορφή αυτή διάβρωσης συναντάται όταν μόνο μικρές περιοχές του μετάλλου είναι διαβρωμένες. Η τοπική διάβρωση, επειδή δημιουργεί λάκκους στην επιφάνεια του μετάλλου (Σχήμα 24) αλλά και επειδή η όλη διεργασία συμβαίνει σε μικρή επιφάνεια του μετάλλου, είναι η πιο σοβαρή μορφή διάβρωσης. Μάλιστα η τοπική διάβρωση μπορεί να προκαλέσει τη διάτρηση του μετάλλου σε πάρα πολύ μικρό χρονικό διάστημα.



Σχήμα 24 Τοπική διάβρωση

ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ: Η γαλβανική διάβρωση (Σχήμα 25) συμβαίνει όταν βρίσκονται σε επαφή δύο διαφορετικά μέταλλα. Το πιο ενεργό μέταλλο διαβρώνεται γρηγορότερα. Κλασσικά παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων σε συστήματα ψύξης με νερό είναι αυτά του χάλυβα και του ορείχαλκου, αλουμινίου και χάλυβα, ψευδάργυρου και χάλυβα αλλά και ψευδάργυρου με τον ορείχαλκο. Στα παραπάνω παραδείγματα εάν εμφανιστεί τοπική διάβρωση το μέταλλο που διαβρώνεται είναι αυτό που καταγράφεται πρώτο σε κάθε ζεύγος.



Σχήμα 25 Γαλβανική διάβρωση

7.1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση είναι οι παρακάτω:

- Το οξυγόνο (O_2) και άλλα διαλυμένα αέρια
- Διαλυμένα ή αιωρούμενα σωματίδια
- Η αλκαλικότητα ή οξύτητα του νερού (pH)
- Η ταχύτητα ροής του νερού
- Η θερμοκρασία του νερού
- Η μικροβιολογική δραστηριότητα

Πιο αναλυτικά για κάθε παραπάνω παράγοντα αναφέρονται:

ΟΞΥΓΟΝΟ: Το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα για την οξειδοαναγωγική αντίδραση που λαμβάνει χώρα στη διάβρωση.

ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ Ή ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ: Τα διαλυμένα σωματίδια μπορούν να επηρεάσουν την δημιουργία διάβρωσης αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση αυτών στο νερό, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αγωγιμότητα που παρουσιάζει το νερό, επομένως αντίστοιχα πιθανή είναι και η διάβρωση. Τα χλωριούχα σωματίδια αλλά και τα αντίστοιχα θειικά άλατα είναι ιδιαίτερως διαβρωτικά. Τα αιωρούμενα σωματίδια από την πλευρά τους μπορούν να επηρεάσουν τη διάβρωση με τη λειαντική τους δράση κυρίως, δημιουργώντας τοπικές εστίες διάβρωσης.

ΟΞΙΝΟ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟ ΝΕΡΟ: Το όξινο και το ελαφρώς αλκαλικό νερό είναι ικανό να διαλύσει το μέταλλο και την προστατευτική στρώση κατά της διάβρωσης στην επιφάνεια του. Από την άλλη πλευρά, το πιο αλκαλικό νερό ευνοεί την δημιουργία αυτής της προστατευτικής επίστρωσης.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ: Οι υψηλής ταχύτητας ροές νερού αυξάνουν τη διάβρωση γιατί μεταφέρουν οξυγόνο στο μέταλλο αλλά και γιατί απομακρύνουν τα προϊόντα της διάβρωσης με μεγαλύτερο ρυθμό. Επιπρόσθετα οι υψηλής ταχύτητας ροές μπορούν να προκαλέσουν την απόξυση των μεταλλικών επιφανειών, των προστατευτικών επιστρώσεων και των οξειδίων. Όταν η ταχύτητα είναι χαμηλή, ευνοείται η επικάλυψη αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία με τη σειρά τους βοηθούν στην αύξηση του ρυθμού της διάβρωσης, αφού ευνοούν την δημιουργία της τοπικής διάβρωσης.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ: Κάτω από τους 70°C , κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά $15\text{-}30^{\circ}\text{C}$, προκαλεί το διπλασιασμό του ρυθμού της διάβρωσης. Πάνω από τους 70°C , οποιαδήποτε επιπρόσθετη αύξηση της θερμοκρασίας έχει σχετικά μικρή επίπτωση στους ρυθμούς διάβρωσης στα συστήματα ψύξης με νερό.

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ: Η μικροβιακή ανάπτυξη προάγει τη δημιουργία εστιών διάβρωσης. Επιπρόσθετα, τα παραπροϊόντα κάποιων οργανισμών, όπως είναι το υδρόθειο από τα αναερόβια διαβρωτικά βακτήρια, είναι και αυτό με τη σειρά του διαβρωτικό.

7.1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΛΗΨΗΣ/ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η διάβρωση μπορεί να προληφθεί ή έστω να μειωθεί στο ελάχιστο η ανάπτυξη της, με τους παρακάτω τρόπους:

- Για ένα νέο σύστημα ψύξης με νερό να γίνει επιλογή αντιδιαβρωτικών μετάλλων και υλικών, ούτως ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο η δημιουργία επιθετικού (διαβρωτικού) περιβάλλοντος
 - Με την κατάλληλη ρύθμιση του pH
 - Να εφαρμόζονται προστατευτικές επιστρώσεις στα μέταλλα, είτε από ειδικές βαφές, είτε από επιμεταλλώσεις, είτε από πίσσα ή πλαστικά
 - Με τη δημιουργία καθοδικής προστασίας με τη χρήση άλλων μετάλλων που θα υφίστανται αυτά τη διάβρωση
 - Με την προσθήκη χημικών αναστολέων, τους οποίους το νερό μπορεί να διανείμει σε όλες τις περιοχές του συστήματος στις οποίες αυτό υπάρχει

7.1.5 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι χημικοί αναστολείς μειώνουν ή ακόμη και σταματούν τη διάβρωση επεμβαίνοντας στο μηχανισμό που τη δημιουργεί. Οι αναστολείς επηρεάζουν συνήθως είτε την άνοδο είτε την κάθοδο.

7.1.5.1 ΑΝΟΔΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι αναστολείς αυτοί εγκαθιστούν ένα film (υμένα) πάνω στην άνοδο. Ωστόσο, αν και αυτοί οι αναστολείς μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικοί, είναι και επικίνδυνοι. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετή ποσότητα αυτών τότε

παρατηρείται διάβρωση στα σημεία της ανόδου που δεν είναι προστατευμένα. Πιο συγκεκριμένα η μορφή της διάβρωσης που δημιουργείται είναι αυτή της τοπικής διάβρωσης στη χειρότερη της έκταση.

Συνηθισμένοι inhibitors αυτής της κατηγορίας είναι τα: χρωμικά, νιτρικά ορθοφωσφορικά και πυριτικά άλατα.

7.1.5.2 ΚΑΘΟΔΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Αντίστοιχα, και οι καθοδικοί inhibitors διάβρωσης δημιουργούν ένα προστατευτικό film (υμένα) στην κάθοδο. Οι αναστολείς αυτοί κατορθώνουν να μειώνουν το ρυθμό διάβρωσης σε ευθεία αναλογία με τη μείωση της καθοδικής περιοχής.

Συνηθισμένοι αναστολείς αυτής της κατηγορίας είναι τα: όξινα ανθρακικά και πολυφωσφορικά άλατα και τα κατιόντα μετάλλων.

7.1.5.3 ΓΕΝΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι αναστολείς αυτής της κατηγορίας προστατεύουν, με τη δημιουργία, αντίστοιχα, ενός προστατευτικού film όλες τις μεταλλικές επιφάνειες, ανοδικές ή καθοδικές.

Συνηθισμένοι αναστολείς αυτής της κατηγορίας είναι τα: Υδατοδιαλυτά έλαια και άλλες οργανικές ενώσεις.

7.1.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Το πιο είναι το σύστημα ψύξης με νερό που θέλουμε να εφαρμόσουμε μια μέθοδο αντιμετώπισης ενός προβλήματος όπως είναι η διάβρωση, ασφαλώς και διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο. Η επιλογή της μεθόδου αντιμετώπισης επηρεάζεται απόλυτα από τα χρήματα που μπορούμε και θέλουμε να δαπανήσουμε.

Για ένα σύστημα once-through, μια πολύ μεγάλη ποσότητα ψυκτικού νερού διέρχεται από το σύστημα μία και μοναδική φορά. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η προστασία που θέλουμε να δημιουργήσουμε να επιτυγχάνεται με πολύ λιγότερη προσπάθεια γιατί το νερό δεν αλλάζει σημαντικά σε σύνθεση κατά τη διέλευση του από το σύστημα.

Σε ένα ανοικτό σύστημα επανακυκλοφορίας, θα πρέπει να υπάρχει εντονότερη παρουσία χημικών συστατικών, γιατί η σύνθεση του νερού αλλάζει σημαντικά, κυρίως κατά τη διεργασία της εξάτμισης (και αυτό γιατί το νερό που εξατμίζεται είναι απολύτως καθαρό, γεγονός που υποδηλώνει ότι το ποσοστό αλάτων στο εναπομένον νερό αυξάνει). Όμως με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η συγκέντρωση στοιχείων που είναι ικανά να δημιουργήσουν είτε διάβρωση είτε επικαθίσεις. Από την άλλη πλευρά εξαιτίας της εξάτμισης αυξάνει και η συγκέντρωση των χημικών που χρησιμοποιούνται. Για αυτό, μετά την αρχική δόση των χημικών αυτών χρειάζονται μικρότερης από την αρχική δόσεις, οι οποίες και θα διατηρούν το υψηλότερο δυνατό επίπεδο

αντιμετώπισης του ή των προβλημάτων που απαιτείται για το συγκεκριμένο σύστημα.

Όσον αφορά τα κλειστά συστήματα επανακυκλοφορίας, και επειδή η σύνθεση του νερού παραμένει αρκετά σταθερή, υπάρχει πολύ μικρή εκροή τόσο του ψυκτικού νερού όσο και των χημικών που χρησιμοποιούνται.

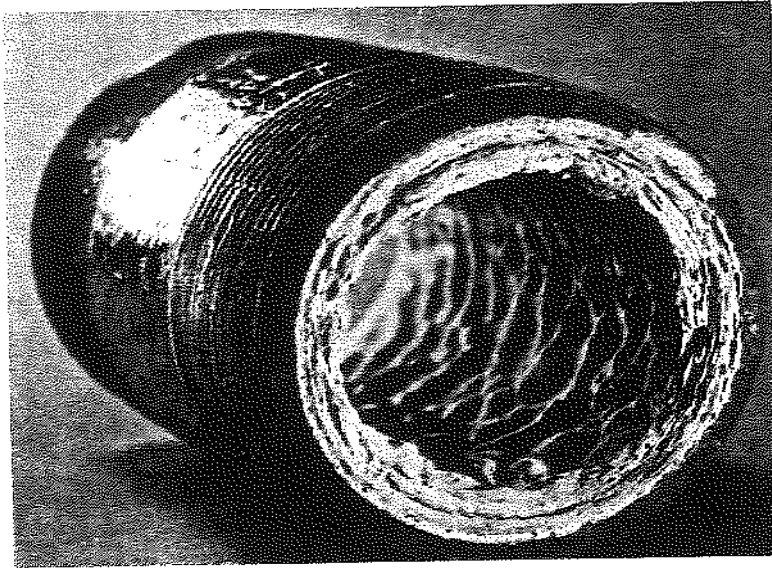
Ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της διάβρωσης με τη χρήση αναστολέων διάβρωσης είναι ο συστηματικός και συνεχής έλεγχος τόσο των αναστολέων διάβρωσης όσο και των χαρακτηριστικών του ψυκτικού νερού. Κανένα πρόγραμμα αντιμετώπισης δεν θα μπορέσει να αποδώσει τα αναμενόμενα εάν δεν υπάρχει ο κατάλληλος έλεγχος.

7.2 ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ (SCALE)

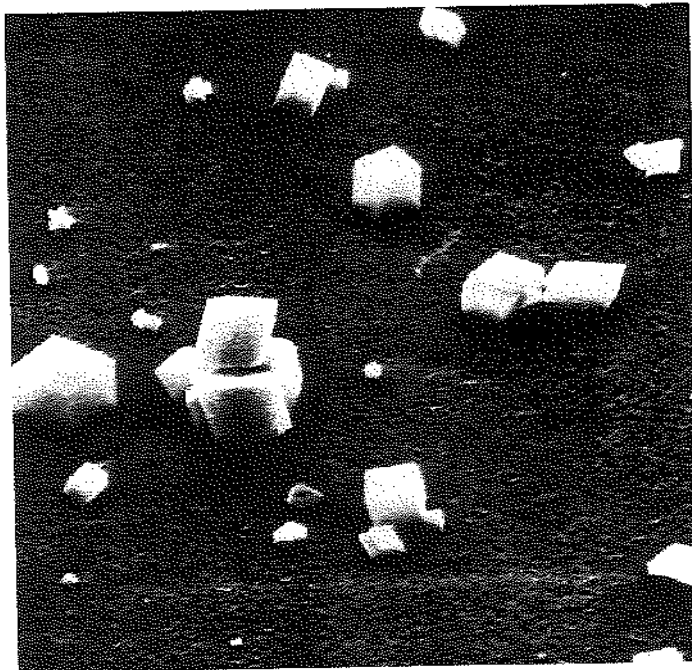
7.2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ

Επικαθίσεις είναι ένα παχύ στρώμα που αποτελείται κυρίως από ανόργανα υλικά (Σχήμα 26) και το οποίο δημιουργείται από την καθίζηση διαλυμένων στο νερό συστατικών. Κάποιες κοινές μορφές των επικαθίσεων είναι:

- Ανθρακικά άλατα ασβεστίου (Σχήμα 27)
- Φωσφορικό άλας ασβεστίου
- Άλατα μαγνησίου
- Χαλαζίες



Σχήμα 26 Επικαθίσεις σε σωλήνωση



Σχήμα 27 Ανθρακικά άλατα ασβεστίου

7.2.2 ΠΩΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί παράγοντες που καθορίζουν εάν ένα ψυκτικό νερό έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει επικαθίσεις ή όχι:

- Η θερμοκρασία του νερού
- Η οξύτητα ή η αλκαλικότητα του νερού (pH)
- Η ποσότητα υλικών που συντελούν στις επικαθίσεις μέσα στο νερό

- Η επίδραση άλλων διαλυμένων συστατικών, τα οποία είτε είναι είτε όχι στοιχεία που ευνοούν τη δημιουργία επικαθίσεων

Η επιρροή αυτών των παραγόντων στην αύξηση της ποσότητας επικαθίσεων είναι διαφορετική και θα εξεταστεί ευθύς αμέσως. Κάποια αλλαγή σε κάποιον από τους παραπάνω παράγοντες επηρεάζει διαφορετικά την τάση για επικαθίσεις.

Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα άλατα γίνονται πιο διαλυτά όσο αυξάνει η θερμοκρασία. Ωστόσο υπάρχουν και κάποια άλλα άλατα, όπως τα καρβίδια ασβεστίου, τα οποία γίνονται λιγότερο διαλυτά όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Για αυτό και αυτά τα συγκεκριμένα άλατα δημιουργούν επικαθίσεις σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Από την άλλη πλευρά, μια μεταβολή στο pH ή στην αλκαλικότητα του νερού, μπορεί να επηρεάσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη δημιουργία επικαθίσεων. Για παράδειγμα, όταν το pH ή αλκαλικότητα αυξάνουν, τα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου, που είναι και τα πιο συνηθισμένα ανόργανα υλικά που συντελούν στην δημιουργία επικαθίσεων στα ψυκτικά συστήματα, διαλύονται δυσκολότερα και επομένως μειώνονται και οι επικαθίσεις αυτών. Κάποια άλλα υλικά, όπως οι χαλαζίες (SiO_2), είναι λιγότερο διαλυτά σε χαμηλότερες τιμές του pH ή αντίστοιχα της αλκαλικότητας.

Γενικότερα, αυτό που ισχύει είναι ότι όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο των διαλυμένων στο νερό υλικών που είναι ικανά να δημιουργήσουν επικαθίσεις, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα δημιουργίας επικαθίσεων.

7.2.3 ΤΡΟΠΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ

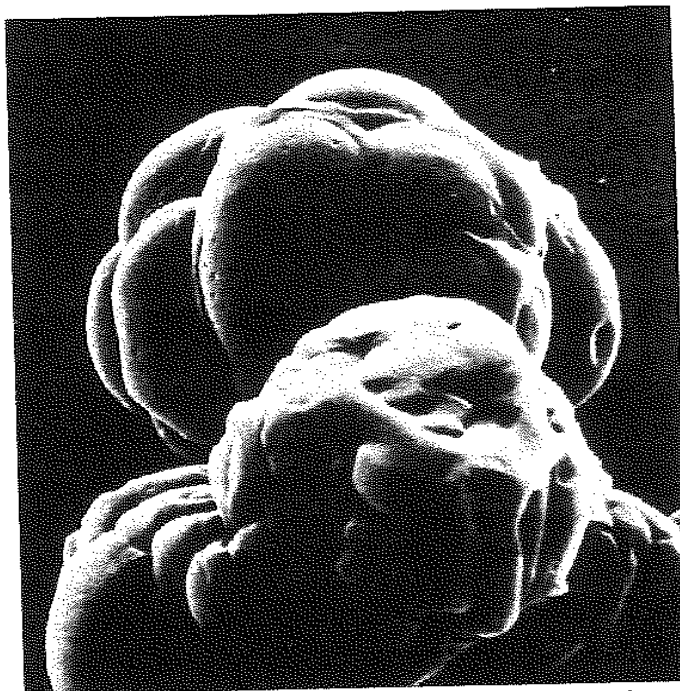
Υπάρχουν τέσσερα βασικά μέσα βάσει των οποίων μπορούμε να ελέγξουμε τις επικαθίσεις. Πιο συγκεκριμένα:

- Περιορισμός της συγκέντρωσης των ορυκτών που είναι ικανά να δημιουργήσουν επικαθίσεις ελέγχοντας τους κύκλους συγκέντρωσης ή απομακρύνοντας τα ορυκτά αυτά πριν εισέλθουν στο κύκλωμα ψύξης. Οι κύκλοι συγκέντρωσης είναι ο λόγος του ρυθμού του εισερχόμενου νερού προς τον ρυθμό της στρατσώνας (blow down).
- Τροφοδότηση του ψυκτικού νερού με οξύ για να διατηρηθούν διαλυμένα τα ορυκτά που είναι ικανά να δημιουργήσουν επικαθίσεις, όπως είναι τα καρβίδια ασβεστίου.
- Μέσω μηχανικών αλλαγών στο ψυκτικό σύστημα με σκοπό τη μείωση της πιθανότητας δημιουργίας επικαθίσεων. Τέτοιες μηχανικές αλλαγές είναι η μεγαλύτερη ροή του νερού και η χρήση εναλλακτών με μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής.
- Με τη χρήση ειδικών χημικών διαλυμάτων τα οποία είναι σχεδιασμένα για να αποτρέπουν τη δημιουργία επικαθίσεων.

7.2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ

Οι αναστολείς ορίου δράσης (threshold inhibitors) εμποδίζουν την δημιουργία επικαθίσεων διατηρώντας τα ορυκτά που είναι ικανά να την δημιουργήσουν σε διαλυτή μορφή και μη επιτρέποντας σε αυτά να καθιζάνουν. Οι αναμορφωτές των επικαθίσεων διαφοροποιούν την κρυσταλλική δομή

τους, δημιουργώντας μια ογκώδη και ικανή να μεταφερθεί μάζα αντί για ένα σκληρό στρώμα καθίζησης (Σχήμα 28).



Σχήμα 28 Ασβεστούχοι ανθρακικοί κρύσταλλοι μετά από χρήση χημικών αναστολέων

Τα πιο συνηθισμένα χημικά που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των επικαθίσεων είναι:

- Αναστολείς ορίου δράσης: οργανικά φωσφορικά άλατα, πολυφωσφορικά άλατα, συνδυασμός πολυμερών
- Προσαρμογείς επικαθίσεων (scale conditioning): Λιγνίνη, τανίνες, συνδυασμός πολυμερών

Ο πιο σημαντικός παράγοντας στον έλεγχο των επικαθίσεων είναι, όπως και στην περίπτωση της διάβρωσης, ο έλεγχος τόσο του χημικού προγράμματος που εφαρμόζεται, όσο και του συστήματος ψύξης. Ο έλεγχος είναι ο μόνος τρόπος με τον οποίο διασφαλίζουμε ότι η δημιουργία επικαθίσεων δε θα

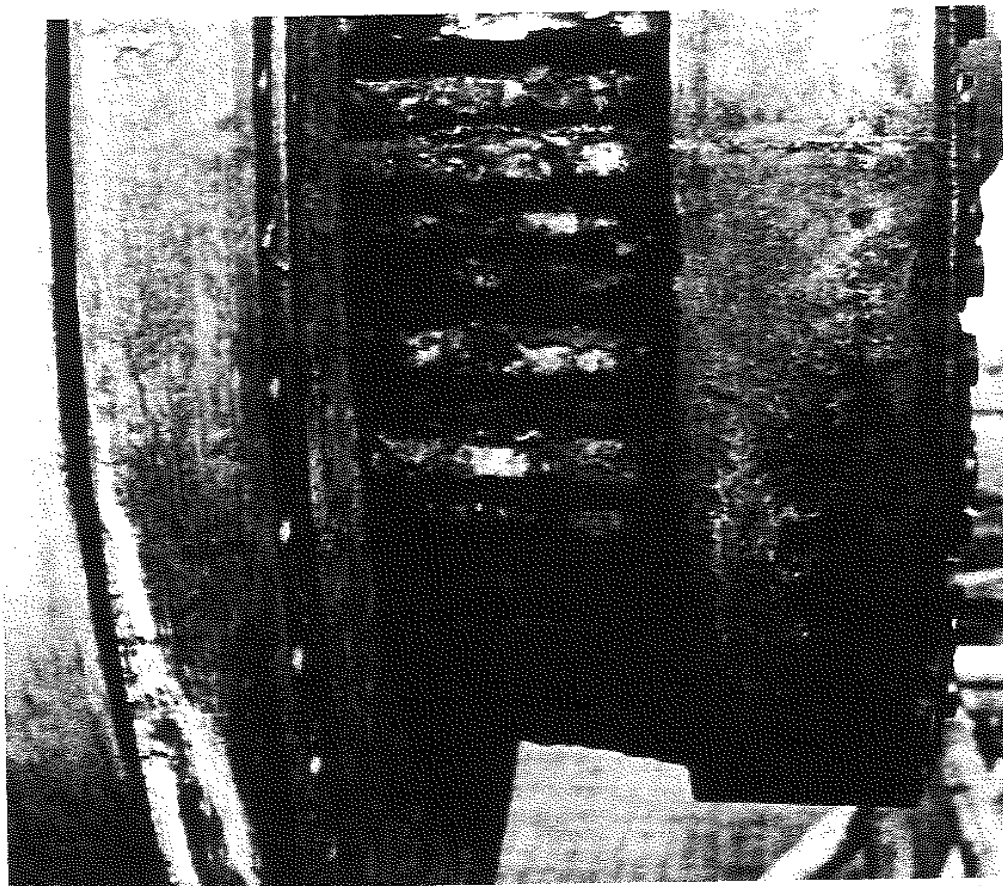
αποτελέσει πρόβλημα στην ασφαλή και αποδοτική λειτουργία όλης της εγκατάστασης.

7.3 ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (FOULING)

7.3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Απόθεση (Σχήμα 29) είναι η συσσώρευση στερεών υλικών, διαφορετικών από αυτά που συντελούν στην δημιουργία επικαθίσεων, με τέτοιο τρόπο ώστε να παρεμποδίζεται ή να χειροτερεύει η λειτουργία του συστήματος. Συνηθισμένα υλικά αποθέσεων είναι τα ακόλουθα:

- Ακαθαρσίες και ιλύς
- Άμμος
- Ανθρακόσκονη και λιγνιτόσκονη
- Τέφρα
- Προϊόντα διάβρωσης
- Φυσική οργανική ύλη
- Μικροβιακές μάζες
- Φωσφορικό αλουμίνιο
- Φωσφορικός σίδηρος



Σχήμα 29 Αποθέσεις πάνω στις σωληνώσεις ενός συμπυκνωτή

7.3.2 ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑ ΨΥΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις αποθέσεις σε ένα σύστημα ψύξης με νερό είναι οι παρακάτω:

- Τα χαρακτηριστικά του νερού
- Η θερμοκρασία
- Η ταχύτητα ροής του νερού
- Η ανάπτυξη ή μη μικροβίων
- Η διάβρωση
- Η μόλυνση του νερού

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τους παραπάνω παράγοντες ξεχωριστά.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ: Το αποσταγμένο νερό δε δημιουργεί αποθέσεις. Ωστόσο, η πλειονότητα των νερών περιέχουν τα διαλυμένα και αιωρούμενα σωματίδια που μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αποθέσεις κάτω από κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: Η αυξανόμενη θερμοκρασία αυξάνει και την τάση για αποθέσεις. Επειδή οι επιφάνειες των εναλλακτών θερμότητας είναι θερμότερες από το ψυκτικό νερό, επιταχύνουν το φαινόμενο των αποθέσεων.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ: Σε ταχύτητες ροής που δεν ξεπερνούν τα 0,4 m/s, οι όποιες αποθέσεις δημιουργούνται από την φυσική κατακάθιση των αιωρούμενων σωματιδίων. Από την άλλη πλευρά, σε ταχύτητες ροής ίσες ή και μεγαλύτερες από 1 m/s, οι αποθέσεις και πάλι μπορούν να εμφανιστούν, σε αυτές τις περιπτώσεις όμως είναι λιγότερο σοβαρές.

ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ: Οι μικροοργανισμοί μπορούν να δημιουργήσουν αποθέσεις σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Επιπρόσθετα, διαβρωτικά ή αποσυνθετικά βακτήρια σιδήρου, είτε δημιουργούν είτε χρησιμοποιούν τα προϊόντα της διάβρωσης, τα οποία διαδοχικά δημιουργούν εκτενείς αποθέσεις. Παράλληλα, όλες οι αποικίες μικροβίων δρουν σαν συλλέκτες ακαθαρσιών και ιλύος, προκαλώντας αποθέσεις από διαφορετικούς επικαθιντές.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ: Η διάβρωση μπορεί να δημιουργήσει προϊόντα αδιάλυτα, τα οποία κατά τη μεταφορά τους αναμιγνύονται με φερτά υλικά, με μολυντές του νερού ή και με μικροβιακές μάζες, και έχουν σαν αποτέλεσμα την επιδείνωση του φαινομένου των αποθέσεων.

ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ: Υλικά τα οποία διαρρέουν από τον εξοπλισμό της διεργασίας της μετάδοσης θερμότητας, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα επικαθίσεων με διάφορους τρόπους:

- Με καθιζήσεις σαν αδιάλυτα προϊόντα
- Εφοδιάζοντας με τροφή τους μικροοργανισμούς και προκαλώντας σημαντική ανάπτυξη μικροβίων
- Αντιδρώντας με επικαθίσεις ή διαβρωτικούς αναστολείς, δημιουργώντας αδιάλυτους επικαθιντές.

7.3.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Οι αποθέσεις μπορούν να ελεγχθούν είτε με μηχανικό τρόπο είτε με χημική επεξεργασία. Η καλύτερη μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον τύπο των αποθέσεων που συναντάται κάθε φορά. Ο έλεγχος των επικαθίσεων σε ένα ψυκτικό σύστημα περιλαμβάνει τρεις βασικές τακτικές:

ΠΡΟΛΗΨΗ: Η διαδικασία της πρόληψης συνδυάζει οτιδήποτε μπορεί να εφαρμοστεί ούτως ώστε να αποφευχθεί η είσοδος των επικαθιντών μέσα στο σύστημα. Η πρόληψη μπορεί να προβλέπει μηχανικές αλλαγές ή προσθήκη χημικών για τον καθαρισμό του χρησιμοποιούμενου νερού.

ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ: Η διαδικασία της ελαχιστοποίησης ασχολείται με τα βήματα που απαιτούνται για την απομάκρυνση ή την ελάττωση του όγκου των επικαθιντών, οι οποίοι αναπόφευχτα διεισδύουν στο σύστημα. Οι διεργασίες που προβλέπονται σε αυτό το στάδιο είναι αυτές του φιλτραρίσματος απομαστευμένης ποσότητας νερού και του περιοδικού καθαρισμού της λεκάνης του ψυκτικού πύργου.

ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ: Κατά τον προοδευτικό έλεγχο γίνονται τακτικές κινήσεις για την ελαχιστοποίηση της καθίζησης των επικαθιντών στο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα οι διεργασίες που εμπεριέχονται σε αυτή τη φάση είναι αυτή της προσθήκης χημικών διαλυτών αλλά και της αέριας επεξεργασίας ή της χρήσης εναλλακτών για επεξεργασία με νερό κατά αντιρροή.

7.3.4 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ

Τα ενισχυτικά ηλεκτρικού φορτίου και οι διαβρέχτες δρουν με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν τους επικαθιντές σε αιώρηση, αποτρέποντας τους από το να αποτεθούν πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες, ή βοηθούν στην απομάκρυνση αποθέσεων που έχουν ήδη δημιουργηθεί. Τα ενισχυτικά ηλεκτρικού φορτίου χρησιμοποιούνται για να αποτρέπουν τους επικαθιντές να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, αυξάνοντας το ηλεκτρικό φορτίο που έχουν.

Οι διαβρέχτες μειώνουν την επιφανειακή τάση που παρουσιάζει το νερό, αποτρέποντας με τον τρόπο αυτό τη δημιουργία νέων αποθέσεων και

πιθανώς απομακρύνοντας ήδη υπάρχουσες αποθέσεις. Η διεργασία αυτή διατηρεί τα σωματίδια, σε αρκετά μεγάλο μέγεθος, μέσα στη ροή του νερού, από όπου είναι πολύ πιο πιθανό να απομακρυνθούν, άρα να απομακρυνθούν και από το σύστημα, είτε μέσω της στρατσώνας (blow down) είτε μετά από φιλτράρισμα.

Τα είδη των χημικών που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Ενισχυτικά ηλεκτρικού φορτίου: ανοδικά πολυμερή
- διαβρέχτες: απολυμαντικά

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη μείωση των αποθέσεων σε ένα σύστημα ψύξης με νερό είναι ο συνεχής έλεγχος τόσο των χημικών όσο και των μηχανικών διεργασιών που εφαρμόζονται.

7.4 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ

7.4.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ

Η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη μικροοργανισμών μπορεί να επιφέρει την απόθεση σχηματισμών οι οποίοι συντελούν στη δημιουργία επικαθίσεων, διάβρωσης και αποθέσεων. Στον Πίνακα 7 καταγράφονται οι μικροοργανισμοί που προκαλούν αυτές τις αποθέσεις, αλλά και τα προβλήματα που αυτοί δημιουργούν.

Πίνακας 7 Βασικές κατηγορίες επιβαρυντικών μικροοργανισμών

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
ΒΑΚΤΗΡΙΑ Νηματοειδή: <i>Αποθέσεις σουλφιδίων</i> <i>Αποθέσεις σιδήρου</i> <i>Στρεπτομήκυτες</i>	Ινώδη, ολισθηρά, γκρι ή γκρι πράσινα	Αποθέσεις
Διαβρωτικά: <i>Desulfonibrio</i> <i>Clostridium (spore forming)</i>	Μαύρη κοκκώδη εμφάνιση, αναπτύσσονται κάτω από μικροβιακή ιλύ ή αποθέσεις	Διάβρωση Δημιουργία αερίων
Non-spore forming: <i>Βακτήριο Flavo</i> <i>Alcaligenes</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Achromobacter</i> <i>Aerobacter</i> <i>Mucoids</i>	Ζελατινοειδή, πεπλεγμένη ουσία, με γλοιώδη εμφάνιση, μπορεί να είναι χρωματισμένη	Αποθέσεις Δημιουργία αερίων Προστασία διαβρωτικών βακτηρίων
Spore forming: <i>B. subtilis</i> <i>B. cereus</i> <i>B. megatherium</i> <i>B. mycooides</i>	Ζελατινοειδή, μπορεί να είναι ινώδη και να ομοιάζουν με σκοινί, μπορεί να είναι χρωματιστά	Αποθέσεις Προστασία διαβρωτικών βακτηρίων
FUNGI (Spore forming) Μύκητες: <i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i>	Ινώδη, αφράτα ή ματ, λογικά άχρωμα αλλά συναντώνται και πράσινα	Αποσύνθεση ξύλου Δημιουργία αερίων Αποθέσεις

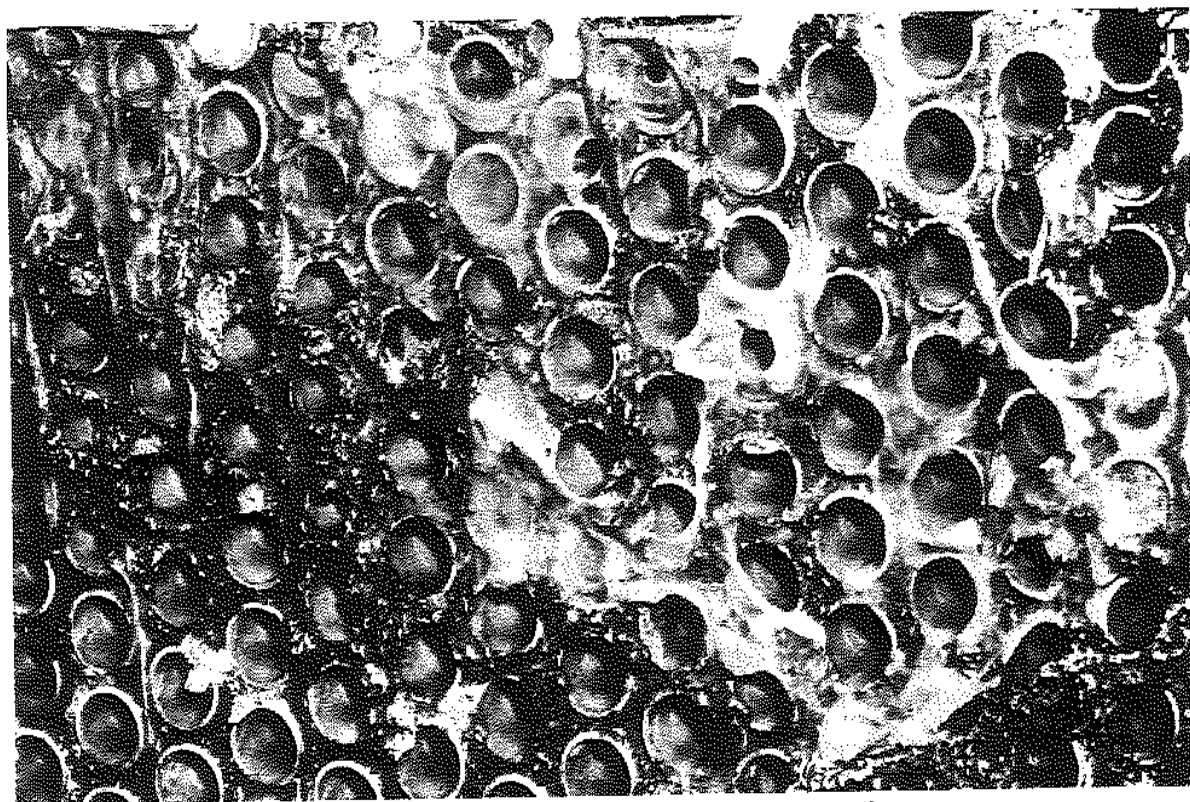
<i>Trichoderma</i> <i>Cladosporium</i> <i>Mucor</i>		
YEASTS <i>Monilia</i> <i>Oospora</i> <i>Torula</i> <i>Endomyces</i> <i>Rhodotorula</i>	Σκληρά, λαστιχένια, ομοιάζουν με γλίτσα, μπορεί να είναι χρωματισμένα ή άχρωμα	Αποθέσεις Δημιουργία κελιών διάβρωσης
ΦΥΚΙΑ <i>Chroococcus</i> <i>Oscillatoria</i> <i>Chlorococcus</i> <i>Ulothrix</i> <i>Navicula</i> <i>Fragilaria</i>	Χαλαρά, γλοιώδους ή λαστιχένιας υφής, πράσινα ή πράσινα-μπλε, βρίσκονται μόνο σε περιοχές με ηλιακό φως	Αποθέσεις Προστασία διαβρωτικών βακτηρίων

7.4.2 Η ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΙΛΥΣ

Η μικροβιακή ιλύς (Σχήμα 30) είναι ουσιαστικά η μάζα που αποτελείται από μικροσκοπικούς οργανισμούς και τα απόβλητα προϊόντα τους. Η ιλύς αυτή χαρακτηρίζεται από μια κολλώδη υφή, και μπορεί να είναι είτε φυτό είτε ζώο.

Ωστόσο αυτή η ιλύς δεν δημιουργείται από όλους τους οργανισμούς που μπορούν να βρεθούν μέσα σε ένα σύστημα ψύξης. Μάλιστα δεν είναι

υπεύθυνοι όλοι οι οργανισμοί ούτε για την μεταλλική διάβρωση που παρατηρείται. Όμως η παρουσία και μόνο «μη βλαβερών» οργανισμών σε μεγάλες ποσότητες μέσα σε ένα σύστημα ψύξης, υποδηλώνει ότι υπάρχουν οι ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη και «βλαβερών», για το σύστημα, οργανισμών.



Σχήμα 30 Απεικόνιση μικροβιακής ιλύος

Η είσοδος των μικροοργανισμών στο σύστημα ψύξης μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Οι μικροοργανισμοί κατά κύριο λόγο μπορούν να εισέλθουν στο σύστημα από το χρησιμοποιούμενο νερό, το οποίο προέρχεται από κάποια πηγή (λίμνη, θάλασσα, ποτάμι). Από την άλλη πλευρά και ο αέρας αλλά και τα έντομα μπορούν να μεταφέρουν μικροοργανισμούς στο σύστημα ψύξης.

7.4.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΛΟΥΝ ΣΤΗ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Ο πιο σημαίνων παράγοντας είναι ο βαθμός μικροβιακής μόλυνσης που έχει υποστεί το σύστημα ψύξης. Οι μεγάλης σημασίας παράγοντες είναι οι ακόλουθοι:

- **Θρεπτικά συστατικά (τροφή):** Για παράδειγμα οι υδρογονάνθρακες, αλλά και άλλες πηγές ανθράκων λειτουργούν σαν τροφή για τους οργανισμούς που δημιουργούν την μικροβιακή ιλύ.
- **Ατμόσφαιρα:** Η ανάπτυξη των οργανισμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαθεσιμότητα οξυγόνου ή διοξειδίου του άνθρακα.
- **Τοποθεσία:** παράγοντες όπως η φωτεινότητα και η υγρασία επηρεάζουν σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης τέτοιων οργανισμών.
- **Θερμοκρασίες:** Οι οργανισμοί που δημιουργούν την μικροβιακή ιλύ ευδοκιμούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 5 και 65°C.

7.4.4 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ

Η μικροβιακή ιλύς μπορεί να δημιουργήσει ή ακόμη και να επιταχύνει τους ρυθμούς ανάπτυξης επικαθίσεων. Μάλιστα η ιλύς αυτή σε πολλές περιπτώσεις είναι υπεύθυνη για την απενεργοποίηση των χημικών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των επικαθίσεων. Ωστόσο με τη δημιουργία αποθέσεων η μετάδοση θερμότητας στους εναλλάκτες γίνεται με μειωμένη απόδοση, γεγονός που συνιστά είτε στον περιορισμό της παραγωγής είτε στην κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας.

7.4.5 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Η ίδια η μικροβιακή ιλύς είναι επικαθιντής. Επιπρόσθετα, παρέχει την τέλεια περιοχή για την περαιτέρω απόθεση και άλλων επικαθιντών. Άλλοι μικροοργανισμοί και αιωρούμενα σωματίδια, με τον τρόπο αυτό, μπορούν να γίνουν μέρος των επικαθίσεων. Αν και πολλοί μικροοργανισμοί δεν αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες, ακόμη και τα κατάλοιπα τους μπορούν να επικαθίσουν σε μεταλλικές επιφάνειες.

7.4.6 ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Κάποιοι οργανισμοί, όπως για παράδειγμα οι τύποι που ανάγουν τις θειικές ρίζες, παράγουν διαβρωτικό υδρόθειο, το οποίο μπορεί να προκαλέσει πολύ ισχυρές τοπικές διαβρώσεις. Παράλληλα, η μικροβιακή ιλύς μπορεί να επιταχύνει τη διάβρωση, με την δημιουργία επικαθίσεων πάνω στα μέταλλα αλλά και αποτρέποντας τη δημιουργία προστατευτικού στρώματος (film) σε αυτά.

7.4.7 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΥΠΟΨΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ

Γενικότερα, οι μικροβιακοί οργανισμοί δημιουργούν αποικίες σε σημεία του συστήματος ψύξης όπου η ταχύτητα το ψυκτικού νερού είναι χαμηλή. Επομένως, οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν το κυρίαρχο σημείο στο οποίο πρέπει να στρέφεται η προσοχή μας για έλεγχο μικροβιακής μόλυνσης. Αντίστοιχα, οι πύργοι ψύξης αποτελούν το πρωταρχικό σημείο ελέγχου για

δημιουργία επικαθίσεων αλλά και για πιθανή αποσύνθεση τους, είτε επιφανειακά είτε ολοκληρωτικά.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό ελέγχου της μικροβιακής μόλυνσης αναφέρονται παρακάτω:

- Τύποι και ποσότητες μικροβιακών οργανισμών που υπάρχουν στο σύστημα
- Σημάδια ύπαρξης μικροβιακής μόλυνσης όπως η αποσύνθεση ξύλου, η δημιουργία αποθέσεων από μικροβιακή ιλύ και η διάβρωση
- Χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος όπως η θερμοκρασία, ο ρυθμός ροής και η σύσταση του ψυκτικού νερού
- Οι τύποι του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται, όπως είναι οι πύργοι ψύξεως, το σύστημα ψεκασμού, οι ανοιχτοί συμπυκνωτές
- Οι πηγές μόλυνσης, όπως είναι οι οργανισμοί και οι «θρεπτικές ουσίες» οι οποίες μπορούν να διεισδύσουν στο σύστημα

Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των «βλαβερών» για το σύστημα οργανισμών, αλλά και να επηρεάσουν τις διεργασίες ελέγχου και αντιμετώπισης της μικροβιακής μόλυνσης.

7.4.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ

Η πρώτη και πιο σημαντική κίνηση για την επιλογή της μεθόδου αντιμετώπισης της μικροβιακής μόλυνσης είναι να καθοριστούν απόλυτα οι τύποι των οργανισμών που είναι παρόντες στο σύστημα. Για να γίνει αυτό

απαιτείται μια ανάλυση αντιπροσωπευτικού δείγματος ψυκτικού νερού και μικροβιακής ιλύος. Μετά από αυτό το στάδιο επιλέγονται οι βιοκτόνες ουσίες οι οποίες πρέπει να είναι πιο τοξικές από τους ήδη υπάρχοντες οργανισμούς. Εάν κάποιος ή κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την αντιμετώπιση της μικροβιακής μόλυνσης μεταβληθούν τότε και η μέθοδος αντιμετώπισης ενδέχεται να διαφοροποιηθεί για να είναι αποτελεσματική.

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τον μικροβιακό έλεγχο κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές κλάσεις:

- Οξειδωτικές βιοκτόνες ουσίες
- Μη-οξειδωτικές βιοκτόνες ουσίες
- Βιοδιασπαστές

Ο συνδυασμός και των τριών κατηγοριών γενικά δημιουργεί ένα πολύ αποτελεσματικό πρόγραμμα ελέγχου.

7.4.8.1 ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ ΒΙΟΚΤΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Τα χημικά με αυτό τον τίτλο κυριολεκτικά καίνε κάθε μικρόβιο με το οποίο έρχονται σε άμεση επαφή. Τα πιο συνηθισμένα οξειδωτικά είναι: η χλωρίνη, το διοξείδιο της χλωρίνης, η βρομίνη, το όζον και οργανοχλωριούχες ενώσεις με αργά αποσπώμενο χλώριο. Η χλωρίνη είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα βιοκτόνα χημικά, με μεγάλο κόστος ωστόσο. Είναι διαθέσιμη σε υγρή, σε αέρια ή ακόμη και σε στερεή μορφή. Η αποδοτικότητα της αυξάνεται όταν χρησιμοποιείται με μη-οξειδωτικές βιοκτόνες ουσίες και βιολογικούς διασπαστές. Στις μέρες μας, και λόγω του ότι η χλωρίνη (12%

Cl_2) είναι πολύ ακριβή, χρησιμοποιείται στη θέση της το βρώμιο Br_2 (βρομίνη), το οποίο οικονομικά συμφέρει πολύ περισσότερο ενώ παρουσιάζει σχεδόν την ίδια αποδοτικότητα με το χλώριο της χλωρίνης.

7.4.8.2 ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ ΒΙΟΚΤΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Είναι οργανικά μείγματα που χρησιμοποιούνται για την θανάτωση μικροοργανισμών. Είναι πολύ αποδοτικές σε περιοχές όπου η χλωρίνη μπορεί να μην είναι επαρκής.

7.4.8.3 ΒΙΟΔΙΑΣΠΑΣΤΕΣ

Οι χημικές αυτές ουσίες δεν θανατώνουν τους οργανισμούς, αλλά «χαλαρώνουν» τις μικροβιακές αποθέσεις, οι οποίες μετά μπορούν να απομακρυνθούν με έκπλυση. Επίσης, εκθέτουν νέα στρώματα μικροβιακής ιλύος ή φυκιών (algae) στην επίθεση από οξειδωτικές βιοκτόνες ουσίες. Οι βιοδιασπαστές ουσιαστικά είναι ένα αποτελεσματικό προληπτικό μέτρο ενάντια στην μικροβιακή μόλυνση, γιατί δυσχεραίνουν τους μικροοργανισμούς να στο να επιτεθούν στις μεταλλικές επιφάνειες και να δημιουργήσουν αποθέσεις.

8. ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Το Ενεργειακό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας παράγει το 65 % περίπου της Ενέργειας του διασυνδεδεμένου δικτύου της ΔΕΗ. Ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής λιγνίτη ανέρχεται σε 60 εκατομμύρια τόνους και αποτελεί το κύριο καύσιμο τροφοδοσίας δεκαοκτώ (18) μονάδων παραγωγής με συνολική ισχύ 4,744 MW (στο τέλος του 2003). Με δεδομένη την αυξημένη συμμετοχή του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας, δεν απέχει από τη πραγματικότητα ο ισχυρισμός ότι κατά μέσο όρο η καθημερινή λειτουργία των μονάδων σε ισχύ υπερβαίνει τα 3,100 MW. Μία συντηρητική εκτίμηση για τις ημερήσιες ανάγκες των μεγαλύτερων μονάδων ανά MW παραγόμενης ισχύος είναι περίπου 60m³. Εύκολα συνάγεται ότι οι ημερήσιες ανάγκες του Ενεργειακού Κέντρου σε επεξεργασμένο νερό για τις ανάγκες των πύργων ψύξεων (make-up water) είναι της τάξης των 186.000 m³. Τους θερινούς μήνες, οπότε και προκύπτει πρόβλημα νερού, οι αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια και οι υψηλές θερμοκρασίες επιδεινώνουν την κατάσταση. Την τελευταία πενταετία, η έλλειψη νερού τους θερινούς μήνες έφθασε σε απελπιστικό σημείο και οι προοπτικές δε συνηγορούν σε αισιοδοξία. Σε σύγκριση, όλες οι άλλες ανάγκες σε νερό σε ένα θερμοηλεκτρικό σταθμό είναι μηδαμινές. Το συμπληρωματικό νερό των λεβήτων, οι καθαρισμοί εξοπλισμών, οι αστικές ανάγκες κ.λ.π. απαιτούν ορθολογισμό και κοινή λογική. Συνεπώς οι μειώσεις των αναγκών σε νερό θα πρέπει να εστιαστούν στο κύκλωμα του νερού ψύξης.

8.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΝΕΡΟΥ ΨΥΞΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Οι Θερμοηλεκτρικές Μονάδες του Ενεργειακού Κέντρου είναι συμβατικής τεχνολογίας χωρίς υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες εξόδου ($T = 540^{\circ}\text{C}$) από τον στρόβιλο, ενώ το απόλυτο κενό στο συμπυκνωτή πρέπει να είναι περίπου 35 mm Hg, δηλαδή (34 έως 38°C). Με αυτά τα δεδομένα, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης των μονάδων, όπως περιορίζεται από τους θερμοδυναμικούς νόμους-είναι περίπου 63% ($1 - T_2/T_1$). Φυσικά, το 50% περίπου της αρχικά διαθέσιμης θερμότητας παραμένει στον ατμό που εξέρχεται από το στρόβιλο και το περισσότερο από αυτό το θερμικό φορτίο αποβάλλεται στον πύργο ψύξης και χάνεται στο περιβάλλον. Ο θερμικός βαθμός απόδοσης των μονάδων θεωρητικά θα πρέπει να είναι λίγο κάτω από 33 %.

Η καλή λειτουργία του πύργου ψύξης ευρίσκεται σε άμεση σχέση με την ομαλή λειτουργία του κυρίου συμπυκνωτή και πρέπει να έχει σαν στόχους:

- την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση νερού
- την λειτουργία σε ικανοποιητικό εύρος ασφάλειας από επικαθίσεις και διαβρώσεις
- την καταπολέμηση των μικροοργανισμών
- την συντήρηση και διασφάλιση της καλής κατάστασης του γεμίσματος του πύργου, των αγωγών και αντλιών ανακυκλοφορίας του νερού, των

αντλιών κενού της μονάδας, του συστήματος καταιονισμού του νερού στο πύργο.

- τον καθαρισμό του νερού από στερεά αιωρήματα (λιγνιτόσκονη, τέφρα, μικροοργανισμούς)

Η κακή ποιότητα του κυκλοφορούντος νερού δημιουργεί επικαθίσεις στους αυλούς του κύριου συμπυκνωτή (κυρίως CaCO_3) με αποτέλεσμα την πτώση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Άμεσα μετρήσιμα αποτελέσματα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης του ατμού του στροβίλου, η μείωση του κενού του συμπυκνωτή, η αύξηση της θερμοκρασίας Δt (διαφορά θερμοκρασιών εξόδου-εισόδου από τον συμπυκνωτή), η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στο συμπυκνωτή και φυσικά η αυξημένη κατανάλωση ατμού ανά παραγόμενη MWh.

Παράλληλα το ψυκτικό νερό εξόδου από το συμπυκνωτή έχει αυξημένη θερμοκρασία και σταδιακά η θερμοκρασία του μπορεί να υπερβεί τους 35°C . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αλγών στον πύργο ψύξης. Αυτό είναι και το πρώτο οπτικό σήμα της κακής λειτουργίας του πύργου. Οι άλγες όχι μόνον επιβραδύνουν και παρεμποδίζουν την εναλλαγή θερμότητας στον πύργο ψύξης αλλά δημιουργούν μεγάλες αποικίες μέσα στον κύριο συμπυκνωτή με αποτέλεσμα να επιταχύνουν και να διευκολύνουν όχι μόνον τις επικαθίσεις αλάτων στους καθρέπτες και στους αυλούς αλλά και τις διαβρώσεις.

Δυστυχώς οι ανάγκες για μέγιστη ισχύ και όχι απλά ενέργεια (ώρες αιχμής) μετατοπίζουν το ενδιαφέρον από τη βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης

στο πρόβλημα της επίτευξης της ονομαστικής ισχύος. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η επίτευξη της ονομαστικής ισχύος είναι δυνατή με την αύξηση της ατμοπαραγωγής. Έτσι, μολονότι επιβαρύνεται ο συντελεστής ατμοπαραγωγής (MWh ανά τόνο παραγόμενου ατμού) «βγαίνουν τα MW» και φαινομενικά έχουν επιτευχθεί οι στόχοι μας. Όμως με αυτό τον τρόπο αναγκάζομαστε να αλέθουμε και να καίμε περισσότερο λιγνίτη, να αυξάνουμε της εκπομπές ρύπων και CO₂, να καταπονούμε το συμπυκνωτή και το λέβητα, να καταναλώνουμε περισσότερο ψυκτικό νερό, να αποβάλλουμε περισσότερη ενέργεια στο περιβάλλον και να αυξάνουμε το κόστος της KWh, κυρίως λόγω του αυξημένου κόστους του λιγνίτη αλλά και άλλων «ενισχυτικών» καυσίμων. Συνήθως ο κύκλος κλείνει με την ετήσια συντήρηση της μονάδος. Ο ετήσιος μηχανικός καθαρισμός του συμπυκνωτή ανοίγει νέα σελίδα στην λειτουργία της μονάδας και αποτελεί σήμερα φυσιολογική και αναμενόμενη (προγραμματισμένη) ενέργεια. Σχετικά σπάνια, η σπατάλη ατμού για επίτευξη ονομαστικών φορτίων δεν είναι αρκετή και απαιτούνται δραστικότερα αλλά αναπόφευκτα μέτρα για το καθαρισμό του κυρίου συμπυκνωτή (χημικός καθαρισμός ή μηχανικός καθαρισμός σε συντομότερα διαστήματα). Παρόμοια τύχη έχουν και όλα τα βοηθητικά ψυκτικά μηχανήματα της μονάδος.

8.2 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΑΗΣ ΛΚΠ-Α (ΤΕΩΣ ΛΙΠΤΟΛ)

Στο Ενεργειακό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, οι πύργοι ψύξης είναι φυσικής κυκλοφορίας. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο μικρότερος σε ισχύ λιγνιτικός σταθμός ισχύος 33 MW (Σχήμα 31) που απετέλεσε από ιστορική σκοπιά το βασικό κύτταρο της μετεξέλιξης της ΛΙΠΤΟΛ στην σημερινή

σημαντική θέση που κατέχει στην οικονομία της χώρας. Ο σταθμός λειτουργεί από το 1959 αλλά η Μονάδα των 33 MW κατασκευάστηκε το 1965.

8.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Πρόκειται για συμβατική μονάδα χωρίς ανάθερμο και σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και πίεση λειτουργία (485 °C και 58 bar). Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει και στο Σχήμα 31 η μονάδα αποτελείται από δύο αντλίες οι οποίες τροφοδοτούν τους δύο λέβητες (Α). Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης η τροφοδοσία καλύπτεται και από μια ηλεκτροκίνητη εφεδρική αντλία. Οι δύο λέβητες παράγουν ατμό 34,558kg/sec στα 58bar και θερμοκρασίας 485°C, ο οποίος μέσω ενός συστήματος σωληνώσεων οδηγείται στον κυρίως στρόβιλο (Β) της μονάδας. Παράλληλα υπάρχει και ένας στρόβιλος μικρότερης ισχύος (10MW) ο οποίος είναι ένας στρόβιλος αντίθλιψης που παρέχει ηλεκτρική και θερμική ισχύ στους ξηραντήρες λιγνίτη. Ο ατμός που οδηγείται στον κυρίως στρόβιλο μπορεί να παράγει ισχύ έως και 33MW. Στον στρόβιλο μπορούν να παρατηρηθούν τρεις ροές ατμού: δύο απομαστεύσεις και μια έξοδο προς τον συμπυκνωτή.

είσοδος: $T=485C$ και $P= 58 \text{ bar}$

- 1η απομάστευση: 2,40 kg/sec, $p=2,22 \text{ bar}$ ($P= 1,6316 \text{ MW}$) $\eta = 88\%$
- 2η απομάστευση: 2,52 kg/sec, $p=0,62 \text{ bar}$ ($P= 2,0382 \text{ MW}$) $\eta = 83\%$
- έξοδος στροβίλου $34,558-2,40 - 2,52 = 29,818 \text{ kg/sec}$, $p=0,06 \text{ bar}$ ($P= 29,3540 \text{ MW}$) $\eta=77\%$

Στην περίπτωση που δεν έχουμε απομαστεύσεις και όλος ο ατμός διοχετεύεται προς την έξοδο του στροβίλου, τότε επιτυγχάνεται και πάλι η παραγωγή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας με τα εξής χαρακτηριστικά:

- είσοδος: $T=485C$ και $P= 58 \text{ bar}$
- έξοδος στροβίλου $34,558\text{kg/sec}$, $p=0,0525\text{bar}$ ($P= 33,3\text{MW}$)
 $\eta=74,7\%$

Τα παραπάνω στοιχεία είναι υπολογισμένα με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος CALCSOFT.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση, ο ατμός που εξέρχεται από το στρόβιλο οδηγείται στον κυρίως συμπυκνωτή (Σχήμα 31 - D) (Σχήμα 32). Η σημασία του κενού, δηλαδή της πίεσης του ατμού στην έξοδο του στροβίλου και ταυτόχρονα στην είσοδο του συμπυκνωτή είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την λειτουργία της μονάδας, κάτι που αναδεικνύεται και παρακάτω. Στην περίπτωση των απομαστεύσεων η ποσότητες του ατμού οδηγούνται σε προθερμαντήρες (P_1 και P_2) για το νερό τροφοδοσίας των λεβήτων. Τα λειτουργικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του κυρίως συμπυκνωτή παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Το συμπύκνωμα, αφού προθερμανθεί και απαερωθεί (P_3), χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των αντλιών. Το ψυκτικό νερό, το οποίο πρέπει να έχει ονομαστική θερμοκρασία $33^{\circ}C$ κατά την έξοδο του από τον συμπυκνωτή, οδηγείται στους πύργους ψύξης (Σχήματα 33,34,35,36,37). Η μονάδα διαθέτει τρεις πύργους ψύξης (τρίαδιαμερίσματα), τα χαρακτηριστικά των

οποίων φαίνονται στον Πίνακα 8. Η ονομαστική θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού νερού από τον πύργο ψύξης, και άρα η θερμοκρασία εισόδου αυτού στον συμπυκνωτή, είναι 24°C . Οι πύργοι ψύξης είναι εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (induced-draft tower) και η μονάδα δεν διαθέτει κανένα σύστημα καθαρισμού του νερού από αιωρούμενα στερεά. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρότι λόγω παγετού κάποια κελιά των πύργων έχουν υποστεί φθορές (σπασμένη ξυλεία) (Σχήματα 38,39,40), η απόδοση του πύργου παραμένει αξιοσημείωτα καλή ($\Delta T_{\text{ψυκτικού νερού}} = 10^{\circ}\text{C}$)



Σχήμα 32 Ο συμπυκνωτής της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ



Σχήμα 33 Η εγκατάσταση των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (1)

Πίνακας 7

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ	
Τύπος συμπυκνωτή:	Κελύφους - Αυλών (διπλής διαδρομής)
Επιφάνεια :	3260m ²
Αριθμός σωληνώσεων:	5150 τεμάχια
Διαστάσεις σωληνώσεων:	OD/ID - 24/22mm, μήκος 8500mm
Υλικό σωληνώσεων:	<ul style="list-style-type: none"> • 4760 σωληνώσεις από 76%Cu, 22%Zn, 2%Al+As • 440 σωληνώσεις στην περιοχή εισόδου ατμού από 70%Cu, 30%Ni
Δεδομένα σχεδιασμού:	<p>Για φορτίο 26MW:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ποσότητα ατμού προς συμπύκνωση: 22kg/sec • ποσότητα ψυκτικού νερού: 5600m³/hr • Θερμοκρασία ψυκτικού νερού: 24°C • Θερμοκρασία εξόδου από συμπυκνωτή: 31,5 °C • Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου 9 °C • Κενό: 0,0525 bar • Πίεση στην έξοδο του στροβίλου 0,0525 bar

Η διατήρηση του κενού στον συμπυκνωτή οφείλεται στη λειτουργία των τζιφαριών. Η λειτουργία τους βασίζεται στην διέλευση νερού υπό πίεση μέσω ενός σωλήνα (συγκλίνων - αποκλίνων) για δημιουργία κενού λόγω της σημαντικής διαφοράς στην ταχύτητα του νερού.

Πίνακας 8

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΓΟΥ ΨΥΞΗΣ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
• Αριθμός διαμερισμάτων:	3
• Αριθμός κελιών ανά διαμέρισμα	2
• Ισχύς ανεμιστήρα κάθε διαμερίσματος:	100 HP
• Χωρητικότητα νερού κυκλώματος:	900 m ³
• Κυκλοφορία ψυκτικού νερού:	5.900 m ³ /hr
• Παροχή αέρα για κάθε ανεμιστήρα:	1.300.000 m ³ /hr
• Θερμοκρασία θερμού νερού (°C):	33 °C
• Θερμοκρασία κρύου νερού (°C):	24 °C
• Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (°C):	9 °C
• Απώλειες εξάτμισης (%):	0,8
• Απώλειες συμπαρασυρμού (% μέγιστες):	0,2
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
• Συνολικές διαστάσεις (Π/Μ/Υ):	21 / 27 / 13 m
• Διαστάσεις βάσης (Π/Μ):	16,5 / 27 m
• Βάρος σε ξηρή κατάσταση:	1.700 t
• Βάρος σε υγρή κατάσταση:	1.750 t
• Πίεση αέρα (wind pressure):	135 kg/m ²
• Υψος άντλησης νερού:	8,2 m



Σχήμα 34 Η εγκατάσταση των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΤΠΤΟΛ (2)



Σχήμα 35 Η εγκατάσταση των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΤΠΤΟΛ (3)



Σχήμα 36 Το κατάστρωμα των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΤΠΤΟΛ (1)



Σχήμα 37 Το κατάστρωμα των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΤΠΤΟΛ (2)



Σχήμα 38 Το κατεστραμμένο πληρωτικό υλικό σε ένα από τα έξι κελιά των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (1)



Σχήμα 39 Το κατεστραμμένο πληρωτικό υλικό σε ένα από τα έξι κελιά των πύργων ψύξης της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ (2)

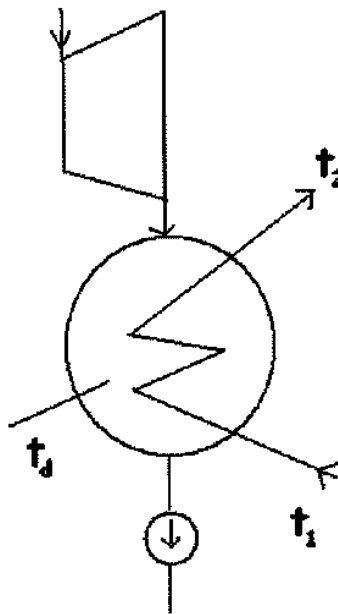


Σχήμα 40 Στα κελιά όπου το πληρωτικό υλικό δεν έχει υποστεί ζημιές ο διασκορπισμός του νερού γίνεται με επιτυχία

8.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ - ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Γενικότερα ο υπεύθυνος λειτουργίας μιας ατμοηλεκτρικής μονάδας παραγωγής ενέργειας (π.χ. μηχανικός παραγωγής) για να μπορεί να ελέγχει ανά πάσα στιγμή τη λειτουργία της μονάδας καταγράφει και αξιολογεί την τιμή του κενού και τις εξής θερμοκρασιακές διαφορές: τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του συμπυκνώματος και του ψυκτικού νερού που απομακρύνεται από το συμπυκνωτή και μεταβαίνει προς τον πύργο ψύξης ($t_d - t_2$), και τη θερμοκρασιακή διαφορά του ψυκτικού νερού κατά την είσοδο και την έξοδο από τον πύργο ψύξης ($t_2 - t_1$) (Σχήμα 41). Πιο συγκεκριμένα όταν:

- Η θερμοκρασία t_d είναι πολύ μεγαλύτερη από την t_2 ($t_d \gg t_2$) τότε γίνεται αντιληπτό ότι ο συμπυκνωτής δε λειτουργεί καλά
- Η θερμοκρασιακή διαφορά $t_2 - t_1$ είναι μεγάλη (9 με 12°C) τότε ο πύργος ψύξης λειτουργεί καλά και το αντίστροφο.



Σχήμα 41 Σχηματική διάταξη στροβίλου - συμπυκνωτή

Η καλή κατάσταση λειτουργίας του συμπυκνωτή είναι κεφαλιώδους σημασίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και συνήθως η θερμοκρασία t_d είναι αρκετά πάνω από τα όρια των προδιαγραφών. Οι λόγοι για όλα αυτά είναι ότι ο συμπυκνωτής παρουσιάζει μείωση της ενεργής επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας λόγω κατακαθίσεων ιλύος, επικαθίσεων αλάτων, δημιουργίας αλγών κ.λ.π. Πέραν τούτου λόγω των πολλών εκκενωτικών βαλβίδων και βαννών είναι πολλές φορές σύνηθες φαινόμενο να διαρρέει ατμοσφαιρικός αέρας στο συμπυκνωτή και να μειώνεται το κενό της μονάδος.

Ειδικότερα για τον ΑΗΣ ΛΚΠ-Α η θερμοκρασία συμπυκνώματος οριακά μπορεί να φθάσει τους 60°C (ενώ η optimum λειτουργία της μονάδας προδιαγράφει $t_d=36$ °C) με αποτέλεσμα την απώλεια ισχύος ή την αναγκαστική μείωση του φορτίου. Συγκριτικά αναφέρουμε ότι κατά την optimum λειτουργία του συγκεκριμένου ΑΗΣ η κατανάλωση ατμού είναι 3,74 tn/MW, ενώ συνήθως η τιμή αυτή δεν περιορίζεται χαμηλότερα από 4tn/MW.

Στην περίπτωση που το πρόβλημα γίνει εντονότερο οι υπεύθυνοι είναι αναγκασμένοι να χαμηλώσουν το φορτίο. Ωστόσο ακόμη και εδώ υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί. Το φορτίο στη συγκεκριμένη μονάδα δεν μπορεί να «πέσει» χαμηλότερα από 7,5 με 8MW, και αυτό γιατί κάτω από αυτή την τιμή θα αρχίσουν ταλαντώσεις στο στρόβιλο (επειδή η μειωμένη παροχή ατμού δεν εισάγεται συμμετρικά στον στρόβιλο). Η αμέσως επόμενη κίνηση εφόσον το όποιο πρόβλημα χειροτερεύει ή δεν επιλύεται είναι το κλείσιμο της μονάδας, πράξη με σημαντικές λειτουργικές και οικονομικές επιπτώσεις. Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε ένα αλγόριθμο βημάτων - κινήσεων στην περίπτωση εντοπισμού κάποιου προβλήματος.

8.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΩΝ - ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΠΟΙΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1° ΒΗΜΑ: Ο υπεύθυνος θα πρέπει να ελέγχει την τιμή του κενού και τις θερμοκρασιακές διαφορές, όπως τονίσαμε και παραπάνω.

2° ΒΗΜΑ: Εφόσον εντοπίσει κάποια τιμή η οποία δεν ενδείκνυται τότε αρχίζει τον έλεγχο των διαφόρων υποσυστημάτων της μονάδας ούτως ώστε να εντοπίσει το λόγο της δυσλειτουργίας.

Η πρώτη κίνηση του θα πρέπει να είναι ο έλεγχος του πύργου ψύξης. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί με ένα οπτικό και ένα εργαστηριακό έλεγχο, όχι χρονοβόρο, μπορεί να αντιληφθεί αν το πρόβλημα προέρχεται από το υποσύστημα αυτό ή όχι, σε σχέση με τον έλεγχο που πρέπει να κάνει στο συμπυκνωτή. Χάρη στο δείγμα νερού που θα πάρει θα υπολογίσει την θολότητα του νερού, την σκληρότητα του, την αλκαλικότητα του, την αγωγιμότητα του, τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών σε αυτό αλλά και τη συγκέντρωση των χλωριόντων (Cl^-), και με βάση τα αποτελέσματα του ελέγχου να εντοπίσει πιθανά την αιτία του προβλήματος ή να αποκλείσει κάποια ενδεχόμενη αιτία. Παράλληλα, ως προς την λειτουργικότητα του πύργου ψύξης θα πρέπει να ελέγξει:

- Αρχικά, αν ο διασκορπισμός του νερού γίνεται σωστά. Οι διασκορπιστήρες του νερού ενδέχεται να έχουν βουλώσει από ιλύ (γεγονός που θα πρέπει να φανεί και από την τιμή της θολότητας του νερού στον εργαστηριακό έλεγχο του δείγματος).
- Επιπρόσθετα θα πρέπει να ελέγξει την λειτουργία των ανεμιστήρων των τριών κελιών των πύργων ψύξης

- Επίσης θα πρέπει να γίνει οπτικός έλεγχος στην ξυλεία του πληρωτικού υλικού. Αν η ξυλεία παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα (π.χ. καταστροφή κάποιων κομματιών, όπως έχει συμβεί λόγω πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και παγώματος του νερού) τότε το ψυχόμενο νερό δεν θα έχει την ανάλογη επιφάνεια αλλά και το χρόνο παραμονής για να ψυχθεί όσο είναι επιθυμητό.

3° ΒΗΜΑ: Μετά από τον έλεγχο του πύργου ψύξης ο υπεύθυνος οφείλει να ελέγξει τις τροφοδοτικές αντλίες. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με τον έλεγχο της παροχής ρεύματος σε αυτές. Αν η ένταση του ρεύματος είναι μεγαλύτερη από τη φυσιολογική σημαίνει ότι οι αντλίες ζορίζονται να αντλήσουν το νερό. Ο δεύτερος τρόπος είναι με τον έλεγχο της τιμής της πίεσης κατάθλιψης. Αν η τιμή της πίεσης αυξάνει σημαίνει ότι κάποιοι αγωγοί ή σωληνώσεις του συμπυκνωτή μπορεί να είναι βουλωμένες από ιλύ.

4° ΒΗΜΑ: Εφόσον γίνει και ο έλεγχος των τροφοδοτικών αντλιών, ο υπεύθυνος θα πρέπει να στραφεί στον έλεγχο του συμπυκνωτή, ο οποίος είναι και ο πιο επίπονος και χρονοβόρος και συνάμα κοστίζει χρήματα ενώ απαιτεί και απώλειες ενέργειας. Το πρώτο πράγμα το οποίο ελέγχεται είναι αν στον συμπυκνωτή εισέρχεται αέρας. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί από την τιμή της αγωγιμότητας των νερών των λεβήτων. Η τιμή της αγωγιμότητας πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Εφόσον η τιμή της αγωγιμότητας αυξάνει ραγδαία (έως 3 με 4 μονάδες), το πιο πιθανό είναι να υπάρχει κάποιος τρύπιος σωλήνας στον συμπυκνωτή. Η μόνη λύση είναι να ταπωθεί ο σωλήνας του συμπυκνωτή που παρουσιάζει διαρροή.

Από την άλλη πλευρά, αν η αγωγιμότητα του νερού των λεβήτων αυξάνει αργά, συνηθίζεται να μην γίνεται καμία ενέργεια άμεσα, και συνίσταται υπομονή για να φανεί αν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα. Συνήθως σε αυτή την τελευταία περίπτωση υπάρχει κάποια εισροή αέρα στο σύστημα του συμπυκνωτή από κάποια από τις πολλές φλάντζες, βάνες και συνδέσεις που διαθέτει. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν πολλοί τρόποι ελέγχου και εντοπισμού του σημείου διαρροής αέρα. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο πιο απλός, και εμπειρικός, τρόπος είναι με τη χρήση σαπουνάδας. Γίνεται έλεγχος όλων των πιθανών σημείων διαρροής (φλάντζες, βάνες, συνδέσεις κλπ), με τη χρήση σαπουνάδας. Εφόσον από κάποιο σημείο υπάρξει αφρισμός τότε η διαρροή έχει εντοπιστεί
- Ένας πιο τεχνικός τρόπος για τον έλεγχο διαρροής είναι μέσω του δικτύου στεγανοποίησης. Χάρη σε ένα στυπιοθλίπτη, μια αντλία και ένα μανόμετρο ελέγχονται τα διάφορα πιθανά σημεία διαρροής
- Παράλληλα, υπάρχει και η δυνατότητα ελέγχου με ανιχνεύσιμο αέριο. Με μια ειδική εγκατάσταση στις φλάντζες παροχετεύεται αέριο το οποίο μπορεί να ανιχνευθεί κοντά στο σημείο διαρροής με ειδικό όργανο
- Ασφαλώς, πάντα πρέπει να γίνεται και ένας οπτικός έλεγχος της εγκατάστασης του συμπυκνωτή (αγωγοί) για τυχόν περίπτωση αποσύνθεσης υλικού (σάπισμα αγωγού ή βάνας)

- Τέλος, υπάρχει και ο έλεγχος του λαβυρίνθου στην έξοδο του ατμού από τον στρόβιλο, ο οποίος χρησιμοποιείται στην στεγανοποίηση του στροβίλου. Αν η παροχή συμπυκνώματος σε αυτό το συμπυκνωτή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη φυσιολογική υπάρχει μια ένδειξη για τον εντοπισμό του προβλήματος

Στην περίπτωση μη εντοπισμού της αιτίας του προβλήματος η επόμενη κίνηση είναι το άνοιγμα του συμπυκνωτή. Οι συμπυκνωτές έχουν την ικανότητα να λειτουργούν στο μισό φορτίο για να μην χρειάζεται η διακοπή λειτουργίας της μονάδας. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται, σε λειτουργία ο μισός συμπυκνωτής.

Εφόσον, ανοίξει ο συμπυκνωτής γίνεται ένας οπτικός έλεγχος για άλατα. Παράλληλα μπορεί να διαγνωστεί και το επίπεδο συγκέντρωσης της ιλύος που έχει συσσωρευτεί σε αυτόν. Ασφαλώς οι τυχόν μυρωδιές που θα αναδύονται αποτελούν και αυτές με τη σειρά τους ενδείξεις προβλημάτων (άλγη). Υπάρχουν δύο τρόποι για την διάγνωση του τυχόν προβλήματος που θα εντοπιστεί, εφόσον ο συμπυκνωτής ανοιχθεί:

- Αν η μονάδα είναι σταματημένη, και ο συμπυκνωτής όλος ανοικτός, τότε αφήνουμε το συμπυκνωτή να ξεραθεί και μετά τον πλημμυρίζουμε με νερό. Αν υπάρχει διαρροή από σωλήνωση τότε γίνεται φανερή η διαρροή, με αποτέλεσμα να ταπώσουμε τη συγκεκριμένη σωλήνωση.

- Αν η μονάδα λειτουργεί, υπό μερικό αναγκαστικά φορτίο, τότε ο έλεγχος γίνεται πιο εμπειρικά, με τη χρήση ενός κεριού. Επειδή στις

σωληνώσεις επικρατεί ατμοσφαιρικό κενό όταν το αναμμένο κερί πλησιάζει την περιοχή της διαρροής, η φλόγα «ρουφιέται» με αποτέλεσμα να εντοπίζεται η περιοχή διαρροής και να ταπώνεται και πάλι η προβληματική σωλήνωση.

Εάν παρθεί απόφαση για καθαρισμό του συμπυκνωτή θα πρέπει αρχικά να αποσαφηνιστεί για ποια αιτία γίνεται αυτός. Πιο αναλυτικά:

- Αν δεν υπάρχουν άλατα στο συμπυκνωτή τότε ο καθαρισμός γίνεται με τον εξής τρόπο: με τη χρήση ενός σφουγγαριού και με ειδικό πιστόλι πεπιεσμένου αέρα καθαρίζουμε τις σωληνώσεις. Αμέσως μετά τη χρήση του σφουγγαριού διοχετεύεται νερό με πίεση για να απομακρυνθούν οι επικαθίσεις που υπάρχουν. Η εργασία αυτή είναι προτιμότερο να γίνεται όταν ο συμπυκνωτής δεν έχει στεγνώσει.

- Αν υπάρχουν και άλατα στο συμπυκνωτή τότε θα πρέπει να ακολουθηθεί είτε μηχανικός είτε χημικός καθαρισμός.

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ: Με τη χρήση χάλκινων ή πλαστικών βουρτσών, για να μην «πληγωθούν» οι σωληνώσεις, οι οποίες σε κάθε σωλήνωση εισέρχονται μία με δύο φορές, και με ταυτόχρονη χρήση νερού καθαρίζονται μία - μία οι σωληνώσεις. Η εργασία αυτή είναι πολύ επίπονη και χρονοβόρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα οκταμελές συνεργείο με οκτάωρη βάρδια μπορεί να καθαρίζει 100 με 120 σωληνώσεις.

ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ: Ο χημικός καθαρισμός απαιτεί τη χρήση υδροχλωρικού οξέος (συγκέντρωση 3%). Υπάρχουν δύο τρόπου διαχείρισης της μεθόδου αυτής:

- Στον πρώτο τρόπο διαχείρισης ουσιαστικά δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα κυκλοφορίας του υδροχλωρικού οξέος. Μέσω μιας δεξαμενής το οξύ τροφοδοτείται με τη βοήθεια μιας αντλίας στον συμπυκνωτή. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται αντιαφριστικές ουσίες και αναστολείς διάβρωσης, ενώ παράλληλα θα πρέπει να διενεργούνται μετρήσεις συγκεντρώσεως του σιδήρου και του χαλκού για να αποφευχθεί μια πιθανή καταστροφή των υλικών του εξοπλισμού. Επιπρόσθετα τοποθετείται μια βάνα στο ανώτερο σημείο του συμπυκνωτή για να διαφεύγει το CO_2 που συγκεντρώνεται και δημιουργεί κινδύνους από την υψηλή πίεση μη επιτρέποντας την πλήρωση των ανώτερων σημείων του συμπυκνωτή.

- Κατά τον δεύτερο τρόπο διαχείρισης πληρώνουμε τον συμπυκνωτή με το ίδιο μείγμα, όπως και στην πρώτη περίπτωση, χωρίς όμως να έχουμε κυκλοφορία του νερού. Η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο δαπανηρή από την πρώτη αλλά ελλοχεύει περισσότερους κινδύνους διάβρωσης των υλικών, ειδικά σε περιπτώσεις με μικρή συγκέντρωση αλάτων. Στην περίπτωση αυτή έχουμε συνεχή μέτρηση της συγκέντρωσης του οξέος στο νερό. Εφόσον αυτή μικραίνει πληρώνουμε με νέα ποσότητα οξέος το νερό, ενώ αν αυτή παραμένει σταθερή τότε σημαίνει ότι ο καθαρισμός έχει επιτευχθεί.

Μετά από το χημικό καθαρισμό συνηθίζεται πλύσιμο του συμπυκνωτή με νερό με την παράλληλη χρήση διαλύματος σόδας, ούτως ώστε να απομακρυνθεί

τυχόν παραμένουσα ποσότητα οξέος από αυτόν. Από την ποσότητα του οξέος που καταναλώνεται μπορεί να υπολογιστεί και η ποσότητα του ασβεστίου που απομακρύνθηκε.

Κατά τη διάρκεια που ο συμπυκνωτής είναι ανοικτός συστήνεται η συλλογή δείγματος επικαθίσεων από τις σωληνώσεις για χημική ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό μπορεί κάποιος να διαγνώσει αν οι σωληνώσεις περιείχαν καύσιμο ύλη, γύψο, τέφρα, λιγνιτόσκονη ή άλατα (και τι είδους π.χ. ασβεστίου ή μαγνησίου).

Ο μηχανικός καθαρισμός συμβαίνει κάθε φορά που η μονάδα σταματά για τακτική συντήρηση (μία φορά το χρόνο περίπου), ενώ ο χημικός καθαρισμός ανά πέντε περίπου χρόνια. Σε κάθε συντήρηση, πάντως, καλό είναι να γίνεται συντήρηση και στον πύργο ψύξης. Ιδιαίτερα θα πρέπει:

- Να γίνεται καθαρισμός της λεκάνης του πύργου
- Να καθαρίζονται οι διασκορπιστές νερού τις οροφής (πορσελάνης)
- Να καθαρίζεται το κατάστρωμα του πύργου από την λάσπη
- Να ελέγχεται η ξυλεία και να αντικαθίστανται τα σπασμένα ή φθαρμένα μέρη αυτού
- Να αλλάζονται οι σίτες αναρρόφησης του ψυκτικού νερού από την λεκάνη του πύργου

8.6 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΤΟΥ ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

Για αρκετά χρόνια, οι ανάγκες σε επεξεργασμένο συμπληρωματικό νερό καλύπτονταν πλήρως από το γειτονικό θερμικό σταθμό του ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ. Η λειτουργία του σταθμού ήταν αποδοτική /οικονομική και σε πλήρη συμφωνία με τις προδιαγραφές του κατασκευαστικού οίκου. Ο μηχανικός καθαρισμός του κυρίου συμπυκνωτή ήταν σχετικά σπάνιος. Πέρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 έγινε φανερό ότι το συμπληρωματικό νερό του πύργου είχε μειωθεί σημαντικά λόγω άλλων προτεραιοτήτων της λειτουργίας του γειτονικού σταθμού. Οι επικαθίσεις αλάτων ήρθαν σαν φυσικό επακόλουθο της μειωμένης στρατσώνας (blowdown), ή /και της χρήσης φυσικού νερού γεωτρήσεων ως συμπληρωματικού νερού. Από το 1994, και ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες το επεξεργασμένο συμπληρωματικό νερό μειώθηκε ακόμα περισσότερο και σε ορισμένες φορές μηδενίστηκε. Παράλληλα, ο πύργος ψύξης και ο κύριος συμπυκνωτής της μονάδας εσωτερικά γέμισε από άλγη και μικροοργανισμούς. Επίσης η εξ ανάγκης μειωμένη στρατσώνα δημιούργησε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις λεπτομερών λιγνίτη στο ψυκτικό νερό με αποτέλεσμα να υπάρχουν κατακαθίσεις στερεών σε σημεία του συμπυκνωτή με μειωμένες ταχύτητες ροής. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν η αύξηση της ειδικής κατανάλωσης ατμού (τόνοι ατμού ανά MWh) έως και 10%.

8.6.1 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο θερμικός σταθμός της ΛΙΠΤΟΛ, αντιμετώπισε την πρόκληση της λειτουργίας του σταθμού (έστω και σε μειωμένο φορτίο 22 MW) αποκλειστικά με φυσικό νερό γεωτρήσεων ως συμπληρωματικό νερό. Η λειτουργία του πύργου έγινε δυνατή με σειρά μέτρων που όχι μόνον υπήρξαν σωτήρια για το σταθμό αλλά υπέδειξαν την πραγματικά optimum λειτουργία του σταθμού με εξοικονομήσεις σε ενέργεια (λιγνίτη), συμπληρωματικό νερό αλλά και λειτουργικές δαπάνες (από κατάργηση των εξόδων μηχανικού καθαρισμού, οικονομικές βλάβες από γενικές κρατήσεις, κ.λ.π).

Η λειτουργία του πύργου ψύξης με 2 έως 2.5 κύκλους συγκέντρωσης εκ των πραγμάτων δεν είναι πλέον δυνατή διότι δεν υπάρχει τόσο συμπληρωματικό νερό διαθέσιμο. Συνεπώς, η δυνατότητα του πύργου ψύξης να αντεπεξέλθει σε περισσότερους κύκλους συγκέντρωσης (τέσσερις έως πέντε) διερευνήθηκε σε βάθος με τη χρήση αντικαθαλωτικών ουσιών. Συνολικά το πρόγραμμα ελέγχου της ποιότητας του ψυκτικού νερού που εφαρμόστηκε και εξακολουθεί να εφαρμόζεται παρουσιάζεται παρακάτω.

8.6.2 ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΥ ΒΡΩΜΙΟΥ

Οι μικροβιακές επικαθίσεις αντιμετωπίζονται με συνδυασμένη δράση χλωρίνης και ενεργού βρωμίου. Το βρώμιο είναι πιο αποδοτικό στην

καταστροφή των μικροβίων επειδή μένει ενεργό σε σχετικά μεγαλύτερο pH (ακόμα και πάνω από 8). Αντίθετα, η χλωρίωση του νερού έχει σημαντικά οφέλη μόνο στις περιπτώσεις που το pH είναι μεταξύ 7 και 8. Μία συγκέντρωση αλογόνων της τάξης του 0.2 ppm είναι αποτελεσματική για οποιοδήποτε pH ψυκτικού νερού. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να χρησιμοποιούμε το νερό του πύργου ψύξης ακόμη και όταν αυτό παρουσιάζει σκληρότητα της τάξης των 60GH.

8.6.3 ΔΙΑΣΠΑΡΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Λεπτομερή σκόνη λιγνίτη που προέρχονται από τις αυλές των σταθμών, σωματίδια τέφρας αλλά και αποικίες μικροβίων που νεκρώνονται και αποσπώνται από σημεία του πύργου πρέπει να ευρίσκονται σε διασπορά ώστε να αποβάλλονται σταδιακά με την στρατσώνα ή να συγκεντρώνονται σε σημεία με πολύ χαμηλές ταχύτητες ροής (π.χ. λεκάνη του πύργου) ώστε να μην παρεμποδίζεται η εναλλαγή θερμότητας στον συμπυκνωτή. Τα ειδικά βιοδιασπартικά (Σχήμα 42) υποβοηθούν τα μικροβιοκτόνα διότι τα φέρουν σε καλύτερη επαφή με αποσπώμενα άλγη και βιομεμβράνες. Οι διασπартικές ουσίες δεν εισέρχονται στο σύστημα όπως οι αντικαθαλωτικές, σε μικρές ποσότητες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, αλλά επιλέγεται η απότομη (σοκάρισμα) έγχυση τους σε μεγάλη ποσότητα ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. 2 μήνες)



Σχήμα 42 Φωτογραφία από τη λεκάνη πύργου ψύξης την χρονική περίοδο «σοκαρίσματος» του συστήματος με διασπαρτικές χημικές ουσίες

8.6.4 ΟΞΥ

Για την αποδοτική λειτουργία του ψυκτικού συστήματος το pH του νερού του πύργου ψύξης θα πρέπει να κυμαίνεται από 7,8 έως 8,3. Η ανώτερη τιμή που αυτό μπορεί να έχει είναι το 9,3. Ο περιορισμός αυτός είναι τόσο λειτουργικός όσο και οικονομικός. Προκειμένου να διατηρείται το pH στα επιθυμητά επίπεδα (7,8. έως 8.3) θα πρέπει να καταναλώνεται η απαιτούμενη ποσότητα οξέος με σύστημα ON-LINE τροφοδοσίας . Έτσι, καταπολεμείται η αλκαλικότητα και διατηρείται το pH σε επίπεδα τέτοια ώστε να δράσει αποτελεσματικά το χλωριοβρώμιο. Το εύρος αυτό του pH είναι επιθυμητό διότι αποφεύγονται οι επικαθίσεις CaCO_3 και δεν είναι το περιβάλλον διαβρωτικό.

Λόγω κόστους το οξύ που προτιμάται να χρησιμοποιείται είναι το Θειικό οξύ (μόνο στον ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ χρησιμοποιείται υδροχλώριο). Η βασική αιτία αυτής της επιλογής έχει να κάνει με το κόστος του οξέος. Το εμπορικό υδροχλωρικό οξύ έχει 33% υδροχλώριο και το εμπορικό Θειικό οξύ 98% καθαρό Θειικό οξύ. Δεδομένου ότι το Θειικό οξύ είναι δισθενές, προτιμάται διότι στην ίδια ποσότητα είναι πιο αποτελεσματικό. Για αυτό αν και το Θειικό οξύ κοστίζει περισσότερο από το υδροχλώριο προτιμάται.

Παρόλα αυτά και τα δύο οξέα παρουσιάζουν πολλά και σημαντικά προβλήματα (handling). Πιο συγκεκριμένα, το υδροχλώριο δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στην περίπτωση που οι ρίζες Cl^- ξεπεράσουν σε συγκέντρωση τα 153ppm. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο τότε υπάρχει ο κίνδυνος προσβολής του ανοξειδωτού χάλυβα. Αυτό είναι και το βασικότερο πρόβλημα που προκαλεί η χρήση του υδροχλωρίου. Από την άλλη πλευρά, το Θειικό οξύ, έχει πιο πολλές αρνητικές επιπτώσεις. Η διαχείριση του πρέπει να γίνεται με πάρα πολύ μεγάλη προσοχή. Το οξύ αυτό όπου και αν πέσει, ρούχα, μπετόν, καταστρέφει το υλικό. Επιπρόσθετα, και ίσως ο πιο σημαντικός αρνητικός παράγοντας στη διαχείριση του Θειικού οξέος έχει να κάνει με το γεγονός της διάβρωσης των υλικών του εξοπλισμού. Για αυτό και οι ποσότητες οξέος που κάθε φορά τροφοδοτούνται πρέπει να είναι συγκεκριμένες και να μην ξεπερνάνε κάποιο όριο. Μάλιστα, και εφόσον χρησιμοποιείται το Θειικό οξύ θα πρέπει να μετράται και η συγκέντρωση των Θειικών ριζών, οι οποίες και αυτές με τη σειρά τους μπορούν να δημιουργήσουν κάποια προβλήματα αν η συγκέντρωσή τους αυξηθεί κατά πολύ.

8.6.5 ΑΝΤΙΚΑΘΑΛΩΤΙΚΕΣ - ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Οργανοφωσφωνικές ενώσεις με πολυμερή αντιστρατεύονται τη γένεση κρυστάλλων CaCO_3 σε κρυσταλλική μορφή τέτοια ώστε να γίνεται δυνατή η επικαθίση τους στους αγωγούς. Σύστημα τροφοδοσίας των ουσιών ON LINE επιτηρεί το σύστημα με ασφάλεια και δεν επιτρέπει αστοχίες. Ουσιαστικά, η χρήση αντικαθαλωτικών ουσιών επιτρέπει τη λειτουργία του κυρίου συμπυκνωτή χωρίς επικαθίσεις σε υψηλότερες τιμές αλκαλικότητας (200 ppm CaCO_3) και ολικής σκληρότητας (1000 ppm CaCO_3) με αποτέλεσμα τη μείωση του συμπληρωματικού νερού και αύξηση των κύκλων συγκέντρωσης.

Στη περίπτωση του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, έχει υπάρξει σημαντική μείωση του συμπληρωματικού νερού. Συγκεκριμένα αντί για 90 m^3/hr πλήρως επεξεργασμένου φυσικού νερού, χρησιμοποιούνται 45 m^3/hr επεξεργασμένου νερού και άλλα 15 m^3/hr φυσικού νερού γεωτρήσεων. Η μείωση της κατανάλωσης είναι συνεπώς τουλάχιστον 20% σε επεξεργασμένο νερό. Δεν υπάρχει ανάγκη μηχανικού καθαρισμού αφού το κενό του συμπυκνωτή και η κατανάλωση ατμού ανά MWh βρίσκονται σε σταθερά επίπεδα. Επιπλέον, ο πύργος ψύξης έχει δείξει ότι έχει ακόμα περιθώρια βελτίωσης διότι σε περιπτώσεις κρίσεων, η μονάδα μπόρεσε να λειτουργήσει επί πενθήμερο με φυσικό νερό γεωτρήσεων αποκλειστικά (45 m^3/hr) και για φορτίο 22 MW.

Η χρήση χημικών προσθέτων στη λειτουργία του πύργου ψύξης όπως άλλωστε αναμένεται παρουσιάζει optimum. Οι αντικαθαλωτικές και διασπαρτικές ουσίες σε αντίθεση με το οξύ και τη χλωροβρωμίωση δεν καταστρέφονται ή διασπώνται. Έτσι σε μόνιμη κατάσταση, η συμπλήρωση τους

πρέπει απλά να αντισταθμίζει την απώλεια από την στρατσώνα (blowdown). Φαινομενικά όσο αυξάνονται οι βαθμοί συμπύκνωσης τόσο μικρότερο είναι το κόστος των αντικαθαλωτικών ουσιών και το κόστος του συμπληρωματικού νερού. Αντίθετα το κόστος του οξέος και της χλωροβρωμίσωσης, αυξάνεται. Εν τούτοις, η λειτουργία σε υψηλούς βαθμούς συμπύκνωσης πρέπει να αποφεύγεται. Το ελάχιστο κόστος δε λέγει πάντοτε όλη την αλήθεια. Οι μεγάλοι βαθμοί συμπύκνωσης μαζί με το χαμηλό κόστος λειτουργίας παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό επικινδυνότητας. Σε περίπτωση αστοχίας οποιασδήποτε παραμέτρου της λειτουργίας, ο κίνδυνος επικαθίσεων μέσα σε λίγες μόνον ώρες είναι τεράστιος διότι το γινόμενο διαλυτότητας του CaCO_3 πλησιάζει το κρίσιμο όριο (διότι η m αλκαλικότητα αλλά και η ολική σκληρότητα ευρίσκονται συνεχώς σε κρίσιμα επίπεδα). Η εμπειρία στη συγκεκριμένη μονάδα έδειξε ότι τέσσερις βαθμοί συμπύκνωσης (μέγιστο 5) είναι ικανοποιητικό όριο για την ασφάλεια του συμπυκνωτή.

Τέλος δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι οι κύκλοι συμπύκνωσης, εκτός από τα χημικά πρόσθετα, εξαρτώνται άμεσα από την ποιότητα του επεξεργασμένου συμπληρωματικού νερού. Η μείωση του συμπληρωματικού νερού (M) αλλά και της στρατσώνας (B), είναι μεγαλύτερη όσο η ποιότητα του συμπληρωματικού νερού (χαμηλή m αλκαλικότητα και ολική σκληρότητα) είναι η καλύτερη δυνατή. Για παράδειγμα, ισοζύγιο ιόντος (π.χ. Ca , Mg , Si ή Cl κ.λ.π) στον πύργο δίδει:

$$M C_M = B C_B + D C_B \text{ ή καλύτερα } M / (B + D) = C_B / C_M = CR$$

όπου φαίνεται ότι οι κύκλοι συγκέντρωσης CR είναι αντιστρόφως ανάλογοι της συγκέντρωσης ιόντων C_M στο συμπληρωματικό νερό, άρα και της

ποιότητάς του. Ο συμπαρασυρμός (D) του πύργου (drift) ουσιαστικά είναι μέρος της στρατσώνας.

8.7 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΣΩΝΑΣ

Όσο μεγαλύτερη στρατσώνα εφαρμόζουμε στο σύστημα μας, τόσο μεγαλύτερες είναι οι ανάγκες που έχουμε τόσο για τις διάφορες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούμε και οι οποίες απελευθερώνονται με αυτή, όσο και για συμπληρωματικό νερό. Για αυτούς τους λόγους η σωστή διαχείριση της μονάδας και η χρήση της στρατσώνας είναι δύο αλληλένδετες έννοιες.

Παράλληλα, επειδή η ποσότητα της στρατσώνας δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του 24ώρου θα πρέπει και η χρήση των χημικών ουσιών να συμβαδίζει με αυτή. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί επιθυμούμε να υπάρχει σταθερή συγκέντρωση των χημικών ουσιών στο ψυκτικό νερό (περίπου 10ppm). Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ON LINE σύστημα ελέγχου της συγκέντρωσης των χημικών ουσιών με τη χρήση ιχνοθέτη. Ο ιχνοθέτης αυτός είναι μια φθορίζουσα ουσία που διακρίνεται εύκολα.

8.8 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Από τη χρήση των χημικών μπορεί να προκληθούν κάποια προβλήματα τα οποία θα πρέπει να προλαμβάνονται. Πιο συγκεκριμένα:

- Εξαιτίας της χρήσης βρόμιου κατά τη χλωροβρομίωση του ψυκτικού νερού, μπορεί να αυξηθεί η περιεκτικότητα αυτού στους φυσικούς αποδέκτες, και επειδή το βρόμιο δεν βρίσκεται στη φύση από μόνο του, πιθανά να δημιουργηθούν προβλήματα.

- Οι αντικαθαλωτικές ουσίες, επειδή είναι ιδιαίτερα τοξικές, δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή εκτός από τον άνθρωπο, και με υλικά όπως το πλαστικό και τα ανοξείδωτα.

8.9 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΟΥ

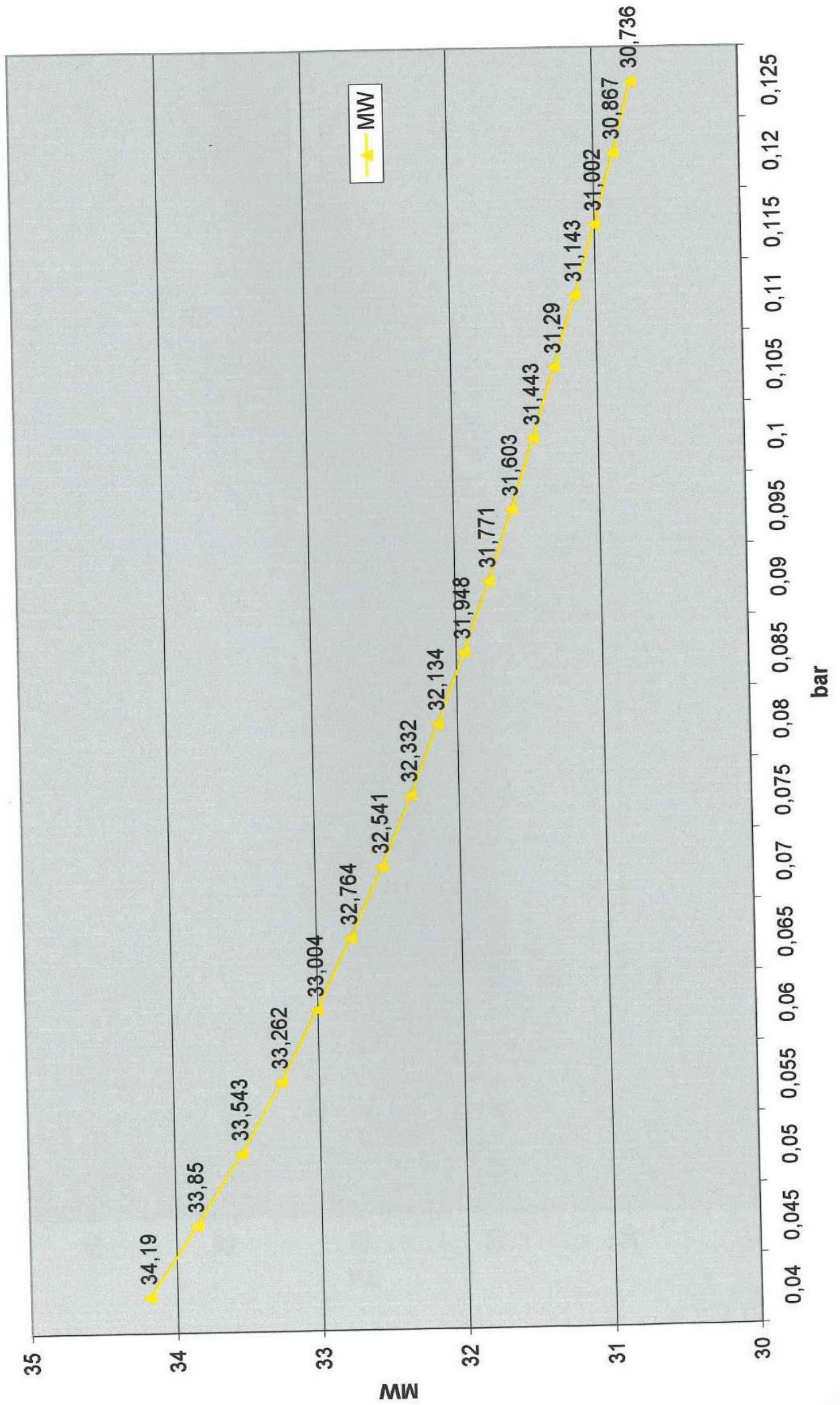
Η σημασία διατήρησης του κενού μέσα στα σχεδιαστικά όρια είναι πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας για την ορθή λειτουργία όλης της μονάδας. Οι προδιαγραφές της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΤΟΛ προβλέπουν ένα εύρος τιμών για το κενό, για την καλή λειτουργία αυτής, της τάξης των 0.0525 έως 0,1 bar. Ωστόσο δεν είναι λίγες οι φορές που το κενό δεν μπορεί να διατηρηθεί μέσα σε αυτό το εύρος τιμών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι μια τυπική καλοκαιρινή μέρα του Αυγούστου, όπου έγινε επιτόπιος έλεγχος στη μονάδα το κενό βρέθηκε να είναι 0,16bar. Το παραπάνω γεγονός χαρακτηρίστηκε από τους υπευθύνους σαν φυσιολογικό.

Το γεγονός αυτό είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη λειτουργία του ψυκτικού κύκλου στη μονάδα. Πιο συγκεκριμένα, τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού, όπου η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι αρκετά υψηλή, το ψυκτικό σύστημα δεν μπορεί να αποδώσει τα αναμενόμενα, είτε όσον αφορά την ψύξη του

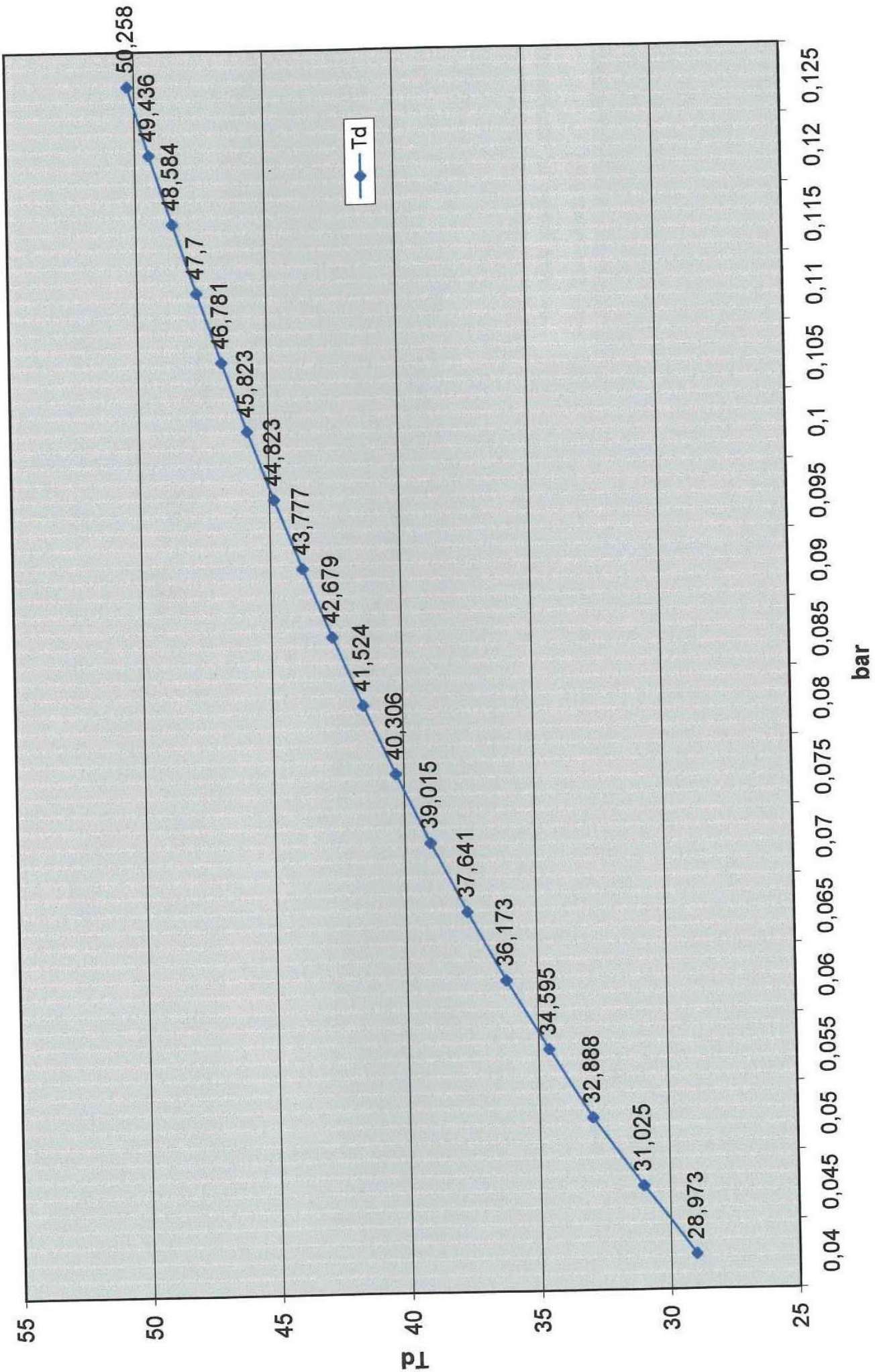
ψυκτικού νερού (πύργος ψύξης) είτε όσον αφορά την ψύξη του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο, με αποτέλεσμα το κενό να αυξάνει. Από την άλλη πλευρά, λειτουργικά προβλήματα, όπως οι επικαθίσεις, η αύξηση της σκληρότητας του νερού, η παρουσία μικροοργανισμών και άλγων, μπορούν να θέσουν, όπως περιγράφηκε και παραπάνω, σε κίνδυνο την αποδοτική λειτουργία του ψυκτικού συστήματος.

Σαν αποτέλεσμα στα παραπάνω παρουσιάζεται το φαινόμενο της αύξησης της τιμής του κενού στην έξοδο του στρόβιλου, γεγονός που έχει σαν επακόλουθο την αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού νερού και το αντίστροφο. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας επαναλαμβανόμενος φαύλος κύκλος που μπορεί να έχει οδυνηρά αποτελέσματα για την ηλεκτροπαραγωγή και όχι μόνον. Με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος CALCSOFT, δημιουργήσαμε τέσσερα διαγράμματα χάρη στα οποία μπορεί κάποιος να παρατηρήσει την αρνητική επιρροή που έχει η αύξηση του κενού τόσο στα παραγόμενα MW, όσο και στη θερμοκρασία του ψυκτικού νερού κατά την έξοδο του από το συμπυκνωτή. Οι υπολογισμοί έγιναν για μέγιστο φορτίο ατμού 34,558kg/sec, με βαθμό ισεντροπικής απόδοσης για το στρόβιλο 74,7% και με θερμοκρασία και πίεση εισόδου 485°C και 58bar (Διαγράμματα 1 και 2), και για την συνήθης περίπτωση λειτουργίας της μονάδας με τις δύο απομαστεύσεις (1η απομάστευση: 2,40 kg/sec, $p=2,22$ bar ($P= 1,6316$ MW) $\eta = 88\%$, 2η απομάστευση: 2,52 kg/sec, $p=0,62$ bar ($P= 2,0382$ MW) $\eta = 83\%$) και με έξοδο στρόβιλου 29,818 kg/sec, $p=0,06$ bar ($P= 29,3540$ MW) και $\eta=77\%$ (Διαγράμματα 3 και 4).

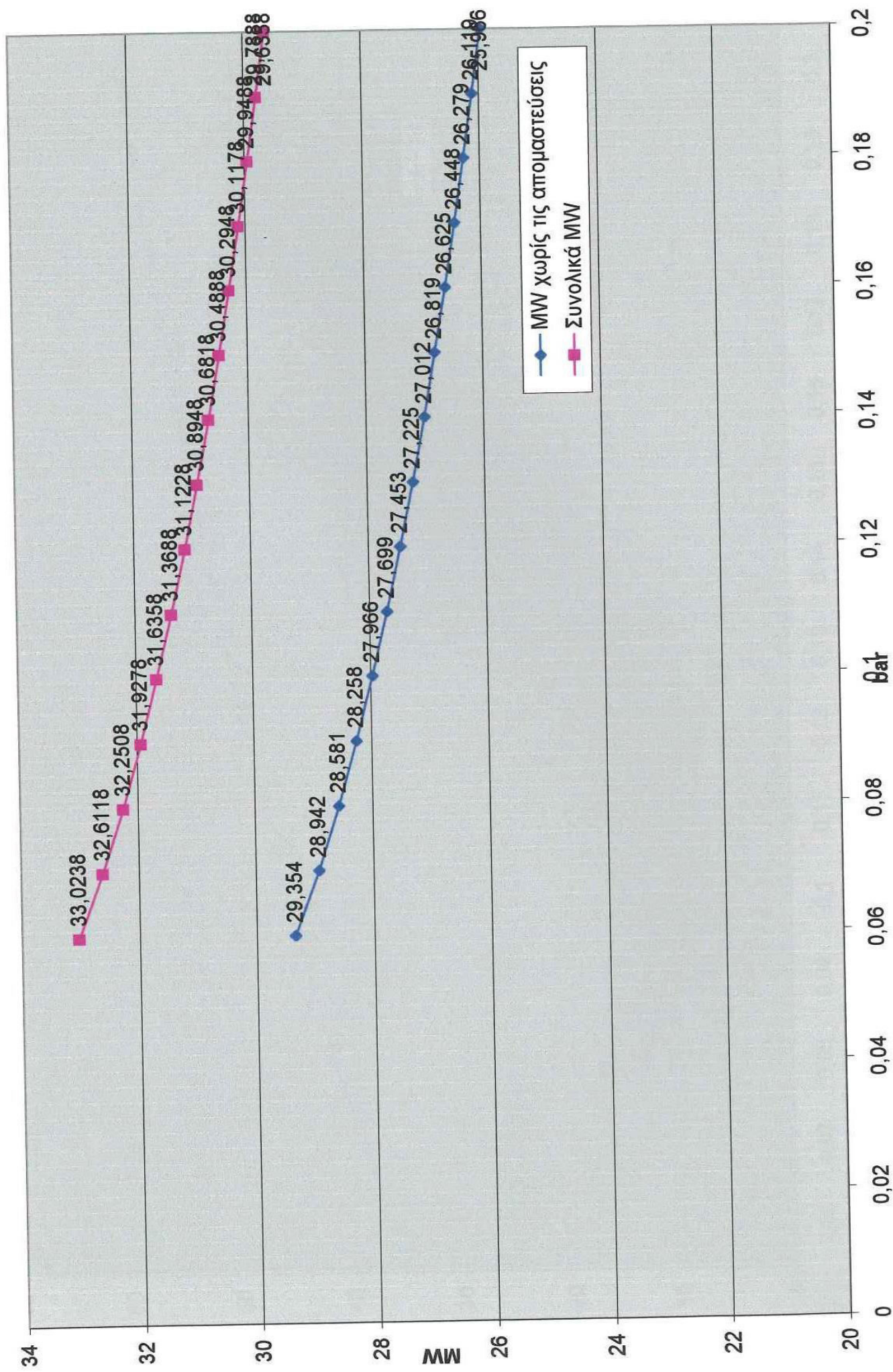
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ



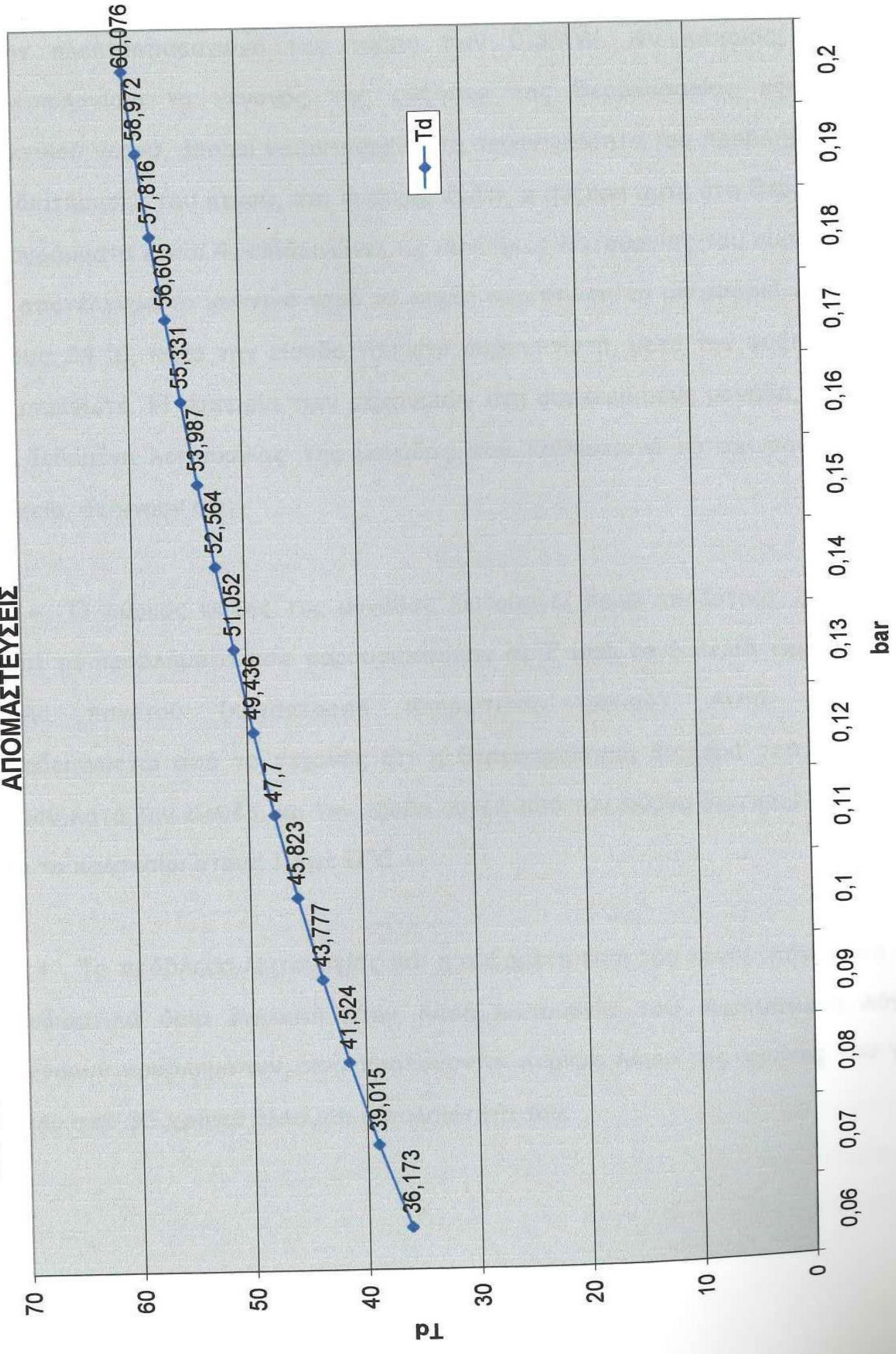
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΕΙΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ
ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΕΙΣ



Από τα Διαγράμματα 1 και 3, αντίστοιχα, καθίσταται σαφές ότι η αύξηση του κενού κατά μόλις 0,005bar και 0,01bar έχει μια σχεδόν γραμμική μείωση στην ηλεκτροπαραγωγή της τάξης των 0,3MW. Αν κάποιος, μάλιστα, συνυπολογίσει το γεγονός της αύξησης της θερμοκρασίας εξόδου του ψυκτικού νερού, μπορεί να αντιληφθεί τη σημαντικότητα του προβλήματος της μη διατήρησης του κενού, στο έπακρο. Διότι, η αύξηση αυτή στη θερμοκρασία, Διαγράμματα 2 και 4, επιδεινώνει τις συνθήκες λειτουργίας του συμπυκνωτή, με αποτέλεσμα το ψυκτικό νερό σε καμία περίπτωση να μη μπορεί να βρεθεί στους 24 °C, κατά την είσοδο του στο συμπυκνωτή, μετά την ψύξη του στο συμπυκνωτή. Η εμπειρία των μηχανικών στη συγκεκριμένη μονάδα, αλλά και τα δεδομένα λειτουργίας της μονάδας που καθημερινά καταχωρούνται στο αρχείο, δείχνουν ότι:

- Ο πύργος ψύξης της μονάδας λειτουργεί πολύ αποδοτικά, ακόμη και μετά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν σε 2 από τα 6 κελιά της μονάδας λόγω παγετού (καταστροφή πληρωτικού υλικού). Αυτό έμπρακτα αποδεικνύεται από το γεγονός ότι η θερμοκρασιακή διαφορά του ψυκτικού νερού κατά την είσοδο και την έξοδο αυτού από τον πύργο διατηρείται, ακόμη και το καλοκαίρι στους 10 με 11°C.

- Το πρόβλημα λειτουργίας και η αυξημένη τιμή του κενού πάνω από τα σχεδιαστικά όρια έγκειται στην κακή λειτουργία του συμπυκνωτή λόγω τεχνικών προβλημάτων, που προέρχονται κυρίως λόγω της χρήσης του για πάνω από 35 χρόνια άλλα και η παλαιότητα του.

Στη συνέχεια αυτής της εργασίας θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τη λειτουργία του πύργου ψύξης και του συμπυκνωτή με βάση κάποιους αλγόριθμους μοντέλοποίησης (Παράρτημα 1 και Παράρτημα 3), αλλά και να καταγράψουμε τα όρια πέρα από τα οποία είναι αδύνατο να έχουμε τις προδιαγραφές που επιθυμούμε για την αποδοτική λειτουργία του ψυκτικού συστήματος και επομένως και όλης της μονάδας.

8.9.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΨΥΞΗΣ ΣΤΟΝ ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

Στην προσπάθεια προσομοίωσης της λειτουργίας του πύργου ψύξης χρησιμοποιήσαμε τον αλγόριθμο που παρατίθεται στο Παράρτημα 1. Με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος EXCEL, καταφέραμε να δημιουργήσουμε ένα πρόγραμμα στο οποίο, με βάση τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού του πύργου ψύξης, αλλάζοντας τις περιβαλλοντικές παραμέτρους μπορούμε να υπολογίσουμε αν το ψυκτικό νερό ψύχεται έως την επιθυμητή θερμοκρασία ή όχι, αλλά κυρίως αν η θερμοκρασιακή διαφορά κατά την είσοδο και την έξοδο αυτού από τον πύργο παραμένει κοντά στους 10 με 11 °C.

Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τα δεδομένα που μας παρέθεσε η ΔΕΗ από την πρώτη δοκιμή λειτουργίας του πύργου ψύξης, υπολογίσαμε το ύψος του πληρωτικού υλικού που διαθέτει ο πύργος. Χάρη στον αλγόριθμο που κατασκευάστηκε, μπορούμε να υπολογίζουμε το απαιτούμενο ύψος του πύργου ψύξης που οφείλει να διαθέτει η μονάδα για να πληροί τις προδιαγραφές. Μάλιστα στον όλο προγραμματισμό λαμβάνουμε υπόψη μας την θεωρητική εμπειρική σχέση (1 προς 10) που συνδέει το ύψος του πληρωτικού υλικού

(τύπου μεμβράνης) με αυτό του πύργου ψύξης (πληρωτικό υλικό τύπου πρόσπτωσης) της μονάδας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

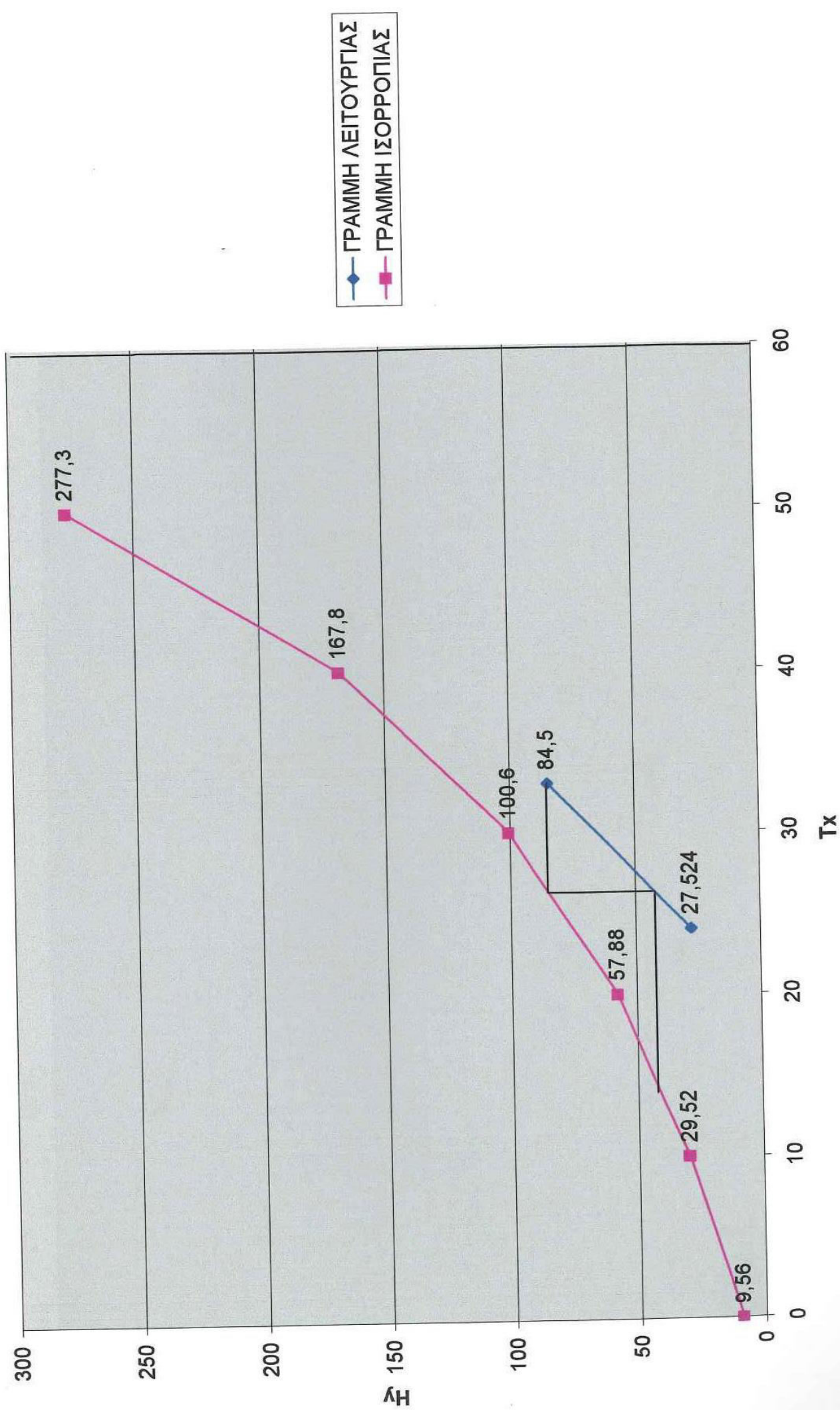
Στη μονάδα του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ διατίθενται τρία διαμερίσματα πύργων ψύξης με ύψος πληρωτικού υλικού τύπου πρόσπτωσης 13m ο καθένας. Αυτό σημαίνει πως η μονάδα διαθέτει πρακτικά 39m πληρωτικού υλικού. Από το πρόγραμμα που έχουμε δημιουργήσει και για τις συνθήκες που καταγράφουν οι ειδικοί κατά τη δοκιμαστική λειτουργία της μονάδας έχουμε τα εξής συμπεράσματα:

- Ο πύργος είναι υπερδιαστασιοποιημένος με αποτέλεσμα να μπορεί να αντεπεξέρχεται πολύ καλά ακόμη και στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας όπως αυτές που καταγράφηκαν στις 19 Αυγούστου 2004, $p=0,16\text{bar}$ και $T_d=55^\circ\text{C}$.
- Με βάση τα σχεδιαστικά δεδομένα ο πύργος απαιτείται να έχει ύψος πληρωτικού υλικού τύπου μεμβράνης $Z=H_e \cdot N_e=1,44 \cdot 1,2=1,74\text{m}$. Και οι δύο συντελεστές υπολογίζονται από τη μοντελοποίηση (Πίνακας 9) και από το Διάγραμμα 5 (αριθμός βαθμίδων N_e). Με βάση τον εμπειρικό τύπο συσχέτισης που υπάρχει το ύψος αυτό πληρωτικού υλικού τύπου μεμβράνης αντιστοιχεί σε 17,4m πληρωτικού υλικού τύπου πρόσπτωσης. Ο πύργος δηλαδή λειτουργεί στο ήμισυ των δυνατοτήτων του.
- Με βάση το δοκιμαστικό τεστ λειτουργίας που έγινε κατά την παράδοση του σταθμού (Πίνακας 10 και Διάγραμμα 6), το πληρωτικό υλικό

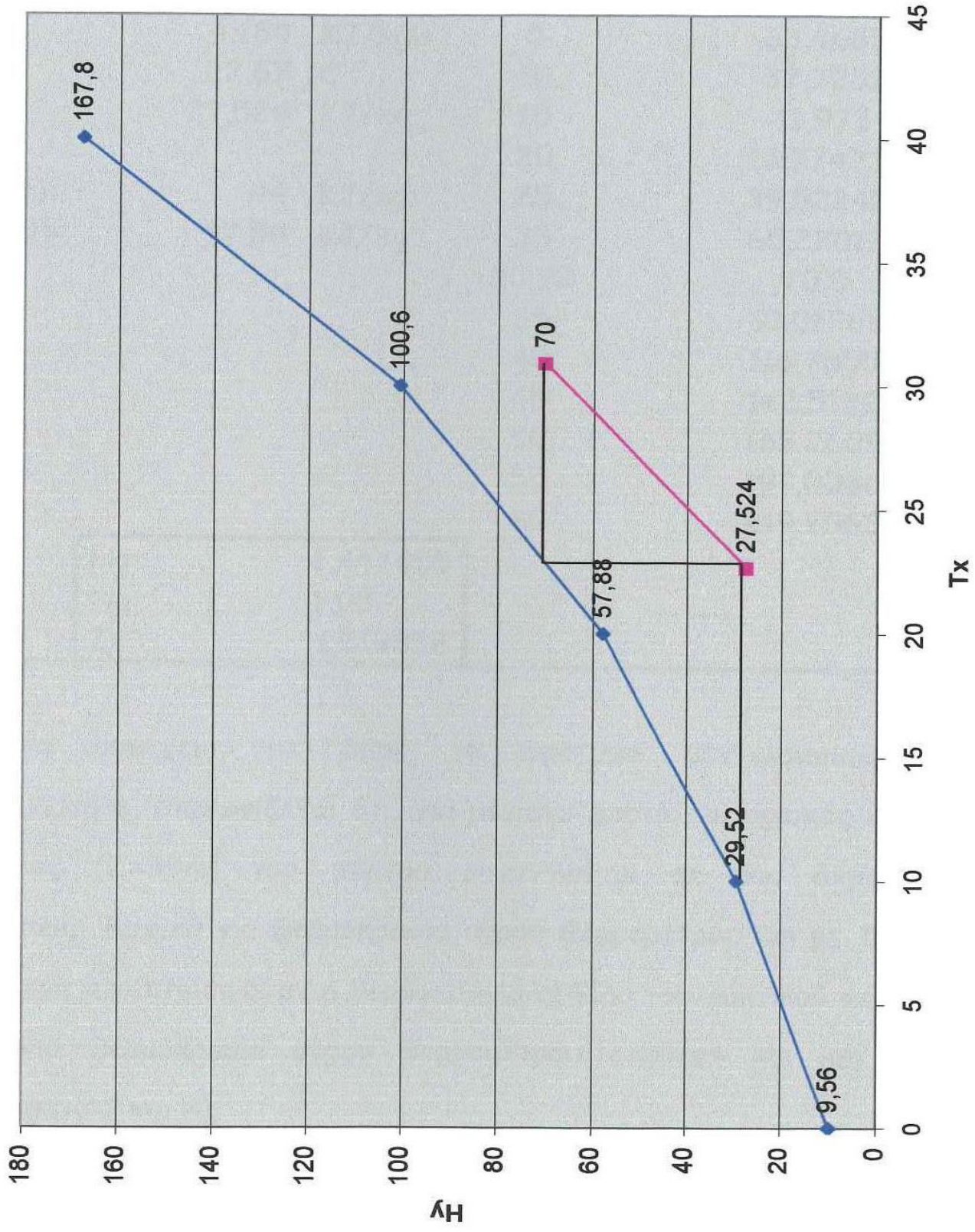
Πίνακας 9. Υπολογισμός ύψους πληρωτικού υλικού για τις σχεδιαστικές προδιαγραφές λειτουργίας του πύργου ψύξης

ΔΕΔΟΜΕΝΑ		$Hy = (Lm \cdot Cp \cdot Tx) / Gm + Hyb - (Lm \cdot Cp \cdot Txb) / Gm$				
		Tx(C)	Hy (για Tb= 9C)	Hy (για Tb= 15C)	Hy (για Tb= 20C)	Hy (για Tb= 16C)
Lm=	7080000000	Kg/sec				
Gm=	4680000000	Kg/sec	-124,3873846			
Cp=	4,184	KJ/kgk	-92,73917949			
Txb=	24	C	-61,09097436			
Hyb(9)=	27,524	KJ/kg	-29,44276923			
			2,205435897			
Hyb(15)=	43,7	KJ/kg	33,85364103	81,67784615	95,85784615	84,51384615
Hyb(20)=	57,88	KJ/kg	65,50184615	113,3260513	127,5060513	116,1620513
Hyb(16)=	46,536	KJ/kg	97,15005128			
			128,7982564			
			160,4464615			
			192,0946667			
			223,7428718			
			255,3910769			
Hg:						1,447455
Z(9)=						1,736946
Z(15)=						3,473892
Z(20)=						10,56642

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5
ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΠΛΗΡΩΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (T_b=9C ΚΑΙ
ΔΤΠύργου=33-24C)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6
ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΠΛΗΡΩΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΕΣΤ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (T_b=9C ΚΑΙ
ΔT πύργου=30,92-22,67C)



- ◆— ΓΡΑΜΜΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ
- ΓΡΑΜΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

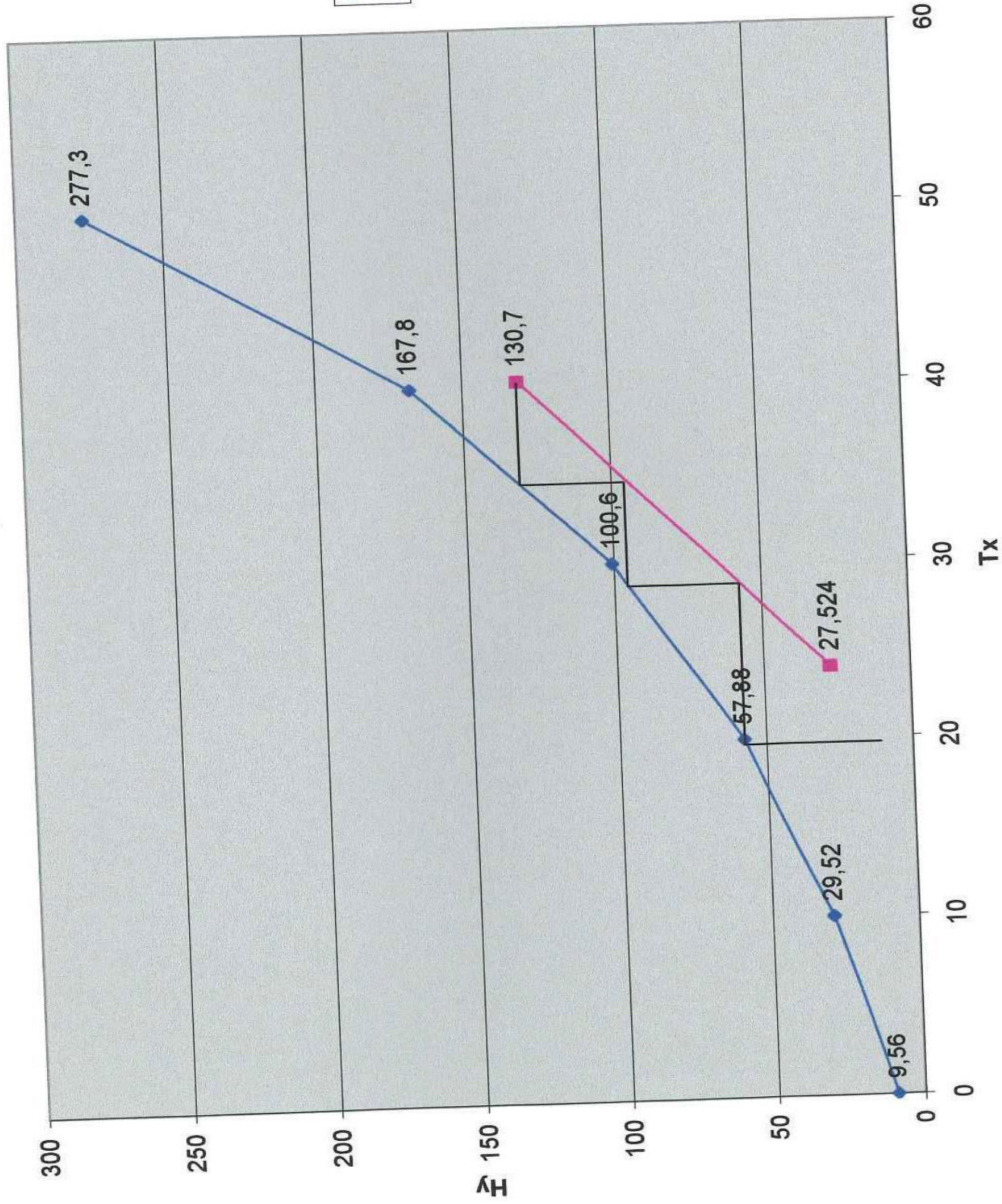
έπρεπε να είναι 15,2m (Z=1,519). Και πάλι, δηλαδή, ο πύργος λειτουργεί πολύ χαμηλότερα από τα όρια του.

Πίνακας 10. Υπολογισμός ύψους πληρωτικού υλικού για τα πραγματικά δεδομένα του τέστ λειτουργίας του πύργου ψύξης

$H_y = (L_m * C_p * T_x) / G_m + H_{yb} - (L_m * C_p * T_{xb}) / G_m$				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ				
Lm=	5760000000	Kg/sec	T _x (C)	H _y (για 9C)
G _m =	4680000000	Kg/sec	0	-89,216
C _p =	4,184	KJ/kgk	5	-63,4683
T _{xb} =	22,67	C	10	-37,7207
H _{yb} =	27,524	KJ/kg	15	-11,973
			20	13,77473
H _{yb} (15)=	44	KJ/kg	25	39,52242
H _{yb} (20)=	57,88	KJ/kg	30	65,27012
			30,92	70,0
			35	91,01781
			40	116,7655
			45	142,5132
			50	168,2609
			55	194,0086
			60	219,7563
H _g :	1,447455			
N _g :	1,05			
Z=	1,519828			

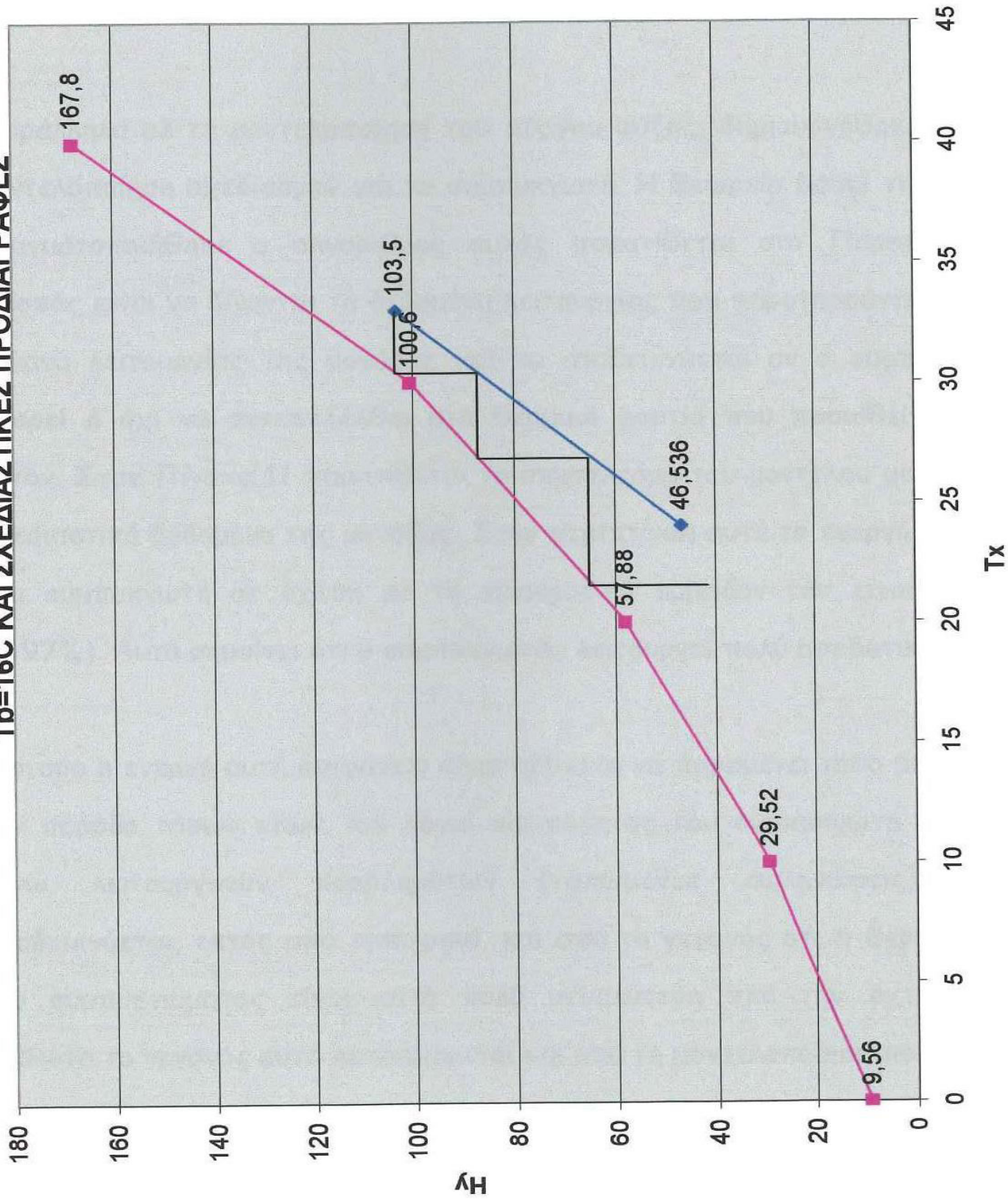
- Στη συνέχεια, με βάση το πρότυπο μοντελοποίησης που κατασκευάστηκε, υπολογίζεται ότι, για μέγιστο φορτίο, οι οριακές συνθήκες λειτουργίας (Z=39m) του πύργου συναντώνται σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις: Αρχικά για θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου ίση με 16 °C, και στη δεύτερη περίπτωση όταν η θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού νερού είναι 40,3°C για θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου σταθερή και ίση με 9°C (Διαγράμματα 7 και 8).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7
ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Z=39m ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ
T_b=9C ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ



—◆— ΓΡΑΜΜΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ
—■— ΓΡΑΜΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8
ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Z=39m ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ
T_b=16C ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ



Οι δύο αυτές ακραίες συνθήκες λειτουργίας που ορίζονται για μέγιστο φορτίο(και όπου από τα Διαγράμματα 5 και 6 $N_6=2,7$, γεγονός που συνεπάγεται $Z_{\text{μεμβρανής}}=3,9\text{m}$ που αντιστοιχεί σε $Z_{\text{προσπτωσης}}=39\text{m}$), επιβεβαιώνουν ότι και η πράξη, δηλαδή, ότι ο πύργος ψύξης λειτουργεί πολύ αποδοτικά χωρίς να παρουσιάζει λειτουργικά προβλήματα.

8.9.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ ΣΤΟΝ ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

Παράλληλα με τη μοντελοποίηση του πύργου ψύξης, δημιουργήθηκε και μια μοντελοποίηση σχεδιασμού για το συμπυκνωτή. Η θεωρία βάσει της οποίας πραγματοποιήθηκε ο αλγόριθμος αυτός παρατίθεται στο Παράρτημα 3. Σκοπός είναι να δίνονται τα δεδομένα λειτουργίας που παρατηρούνται από τα όργανα λειτουργίας της μονάδας και να αναδεικνύεται αν ο συμπυκνωτής μπορεί ή όχι να αντεπεξέλθει στο θερμικό φορτίο που προωθείται προς αυτόν. Στον Πίνακα 11 παρατίθεται το αποτέλεσμα του μοντέλου με βάση τα σχεδιαστικά δεδομένα της μονάδας. Στην περίπτωση αυτή το ενεργό εμβαδόν του συμπυκνωτή σε σχέση με το πραγματικό εμβαδόν του είναι το ίδιο ($\eta=97\%$). Αυτό σημαίνει ότι ο συμπυκνωτής λειτουργεί πολύ αποδοτικά.

Ωστόσο η ενεργή αυτή επιφάνεια είναι αδύνατο να παραμένει τόσο μεγάλη, με την πάροδο τόσων ετών, και λόγω παλαιότητας του συμπυκνωτή αλλά και λόγω λειτουργικών προβλημάτων (ταπωμένες σωληνώσεις). Αυτό αποδεικνύεται, εκτός από εμπειρικά, και από το γεγονός ότι η θερμοκρασία του συμπυκνώματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την σχεδιαστική. Μάλιστα το γεγονός αυτό καταγράφεται και από τη μοντελοποίηση που

Πίνακας 11. Μοντελοποίηση λειτουργίας συμπυκνωτή για τα δεδομένα σχεδιασμού του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{πύργου}}$$

m=	7200000	kg/hr	Q=	271123200	kJ/kgk
Cp=	4,184	kJ/kgK		256971789	Btu/hr
Τεξόδου=	33	C			
Τεισόδου=	24	C			
ΔTπύργου=	9	C			
Td=	36	C			

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$U_d = C_{cl} \cdot C_t \cdot C_L \cdot C_T \cdot V^{0,5}$$

Ccl=	0,85		Q=A*Ud*ΔTlog		
Ct=	1				
CL=	1		A=	37983,049	ft ²
Ct=	263			3528,7407	m ²
V=	7359,36333	m/hr			
	2,04426759	m/sec	Ανομομαστικό=	35090,348	ft ²
	6,70691467	fps		3260	m ²

$$U_d = 578,943343 \text{ Btu/hr/ft}^2/\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 12$$

$$\text{Βαθμός Απόδοσης} = 1,0824358 \%$$

$$\Delta T_1 = 3$$

$$\Delta T_{\text{log}} = 11,6858298$$

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$Q = V \cdot (H(\epsilon\xi) - h(T_d))$$

V=	107344,8	kg/hr			
H(εξ)	2404,6	kJ/kg			
h(Td)	150,78	kJ/kg			
Q=	241935857	kJ/hr			
	229307894	Btu/hr			

δημιουργήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, και για τα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας της 19^{ης} Αυγούστου 2004 που αναφέρονται και παρακάτω, η ενεργή επιφάνεια του συμπυκνωτή είναι μόλις το 33% της πραγματικής επιφάνειας (Πίνακας 12), γεγονός που φωτογραφίζει και την μη αποδοτική λειτουργία του συμπυκνωτή.

- 1η απομάστευση: 1,92 kg/sec, $p=2,22$ bar ($P= 1,3053$ MW) $\eta = 88\%$
- 2η απομάστευση: 2,02 kg/sec, $p=0,62$ bar ($P= 1,6338$ MW) $\eta = 83\%$
- έξοδος στροβίλου $27,77-1,92 - 2,02 = 23,83$ kg/sec, $p=0,16$ bar ($P= 21,278$ MW) $\eta=77\%$
- Συνολική ισχύς = 24,2MW

Μια μέθοδος για να μειωθεί το κενό ($<$ από 0,16bar), είναι να προχωρήσει η μονάδα σε μείωση του φορτίου. Με βάση τη μοντελοποίηση πραγματοποιείται μια μείωση του φορτίου κατά 10% (από 27,77kg/sec σε 25kg/sec), στην περίπτωση με τις δύο απομαστεύσεις, με σκοπό να φανεί ότι η μείωση αυτή στο φορτίο λειτουργεί θετικά τόσο ως προς την μείωση του κενού, όσο και ως προς την αποδοτικότερη λειτουργία του συμπυκνωτή. Πιο αναλυτικά, θεωρείται η ενεργή επιφάνεια ως η πραγματική επιφάνεια και επαναυπολογίζεται το ΔT_{log} . Με το νέο ΔT_{log} και με βάση το θερμικό φορτίο του ατμού υπολογίζεται η νέα θερμοκρασία συμπυκνώματος (50,3°C). Χάρη και στην βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος CALCSOFT βρίσκεται, με δοκιμή και σφάλμα, ότι το καινούριο κενό είναι 0,125bar. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται σαφές ότι μια μείωση φορτίου οδηγεί σε αναλογικά μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος. Κατά τη νέα λειτουργία θα είναι:

Πίνακας 12. Μοντελοποίηση λειτουργίας συμπυκνωτή για τις πραγματικές συνθήκες που καταγράφηκαν στις 19 Αυγούστου 2004 στον ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{πύργου}}$$

m=	5900000	kg/hr	Q=	246856000	kJ/kgk
Cp=	4,184	kJ/kgK		233971228	Btu/hr
Τεξόδου=	38	C			
Τεισόδου=	28	C			
ΔTπύργου=	10	C			
Td=	55	C			

$$Q = A \cdot U_d \cdot \Delta T_{\text{log}}$$

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$U_d = C_{cl} \cdot C_t \cdot C_L \cdot C_T \cdot V^{0,5}$$

Ccl=	0,85		A=	11474,185	ft ²
Ct=	1			1065,9866	m ²
CL=	1				
Ct=	263				
V=	6030,5894	m/hr	Ανομομαστικό=	35090,348	ft ²
	1,67516372	m/sec		3260	m ²
	5,49594397	fps			

$$U_d = 524,077871 \text{ Btu/hr/ft}^2/\text{F}$$

$$\text{Βαθμός Απόδοσης} = 0,3269898 \%$$

ΔT2=	27
ΔT1=	17
ΔTlog=	38,9085274

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$Q = V \cdot (H(\epsilon\xi) - h(T_d))$$

V=	100000	kg/hr
H(εξ)	2404,6	KJ/kg
h(Td)	150,78	KJ/kg
Q=	241935857	KJ/hr
	229307894	Btu/hr

- 1η απομάστευση: 1,735 kg/sec, $p=2,22$ bar ($P= 1,1795$ MW) $\eta = 88\%$
- 2η απομάστευση: 1,8225 kg/sec, $p=0,62$ bar ($P= 1,4741$ MW) $\eta = 83\%$
- έξοδος στροβίλου: 21,4425 kg/sec, $p=0,06$ bar ($P= 19,65$ MW) $\eta=77\%$
- Συνολική ισχύς = 22,31MW

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι με μια μείωση του φορτίου κατά 10% έχουμε μια μείωση της παραγόμενης ισχύος κατά 8%.

8.10 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

Το καθαρό οικονομικό όφελος από την εισαγωγή του παραπάνω προγράμματος στο ψυκτικό νερό του ΑΗΣ ΛΚΠ-Α αποτιμάται για τη μονάδα των 33MW σε 0,5 εκ. € ετησίως και οφείλεται σε εξοικονομήσεις από το κόστος του λιγνίτη, του συμπληρωματικού νερού, του καθαρισμού κύριου συμπυκνωτή και τις απώλειες από γενικές κρατήσεις (μισθοδοσία προσωπικού).

8.11 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η εξοικονόμηση νερού αλλά και οι ευεργετικές συνέπειες της αποδοτικής λειτουργίας της μονάδος δεν έχουν επιβεβαιωθεί μόνο από το παράδειγμα του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ. Μετά την επιτυχή έκβαση των δοκιμών, ο γειτονικός ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ προχώρησε σε εκτεταμένες δοκιμές στην μονάδα ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ ΙΙΙ (175 MW) με αντίστοιχα αποτελέσματα. Η

εξοικονόμηση επεξεργασμένου νερού στην εν λόγω μονάδα έφθασε τις 1.500 m³ ημερησίως.

Την τελευταία διετία όλοι οι σταθμοί παραγωγής της περιοχής Πτολεμαΐδας χρησιμοποιούν το παραπάνω πρόγραμμα διατήρησης της ποιότητας του ψυκτικού νερού. Είναι φανερό ότι ακόμα και μία μικρή εξοικονόμηση νερού (της τάξης του 15%) θα έχει σοβαρό αντίκτυπο στα χιλιάδες κυβικά μέτρα νερού που αντλώνται καθημερινά. Τα παραπάνω έχουν ακόμα ιδιαίτερη σημασία για την περιοχή του Ενεργειακού Κέντρου αν αναλογιστεί κανείς ότι μεγάλο μέρος των υδατικών διαθέσιμων της περιοχής χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροπαραγωγή από τρία υδροηλεκτρικά εργοστάσια του Αλιάκμονα. Είναι γεγονός ότι η ορθολογιστική χρήση του λιγνίτη στην επίτευξη της ονομαστικής ισχύος των μονάδων υπαγορεύει τη διατήρηση των κυρίων συμπυκνωτών και των πύργων ψύξης σε άριστη κατάσταση διότι η σπατάλη του εθνικού μας πλούτου από τις καμινάδες βλάπτει το περιβάλλον αλλά και την εθνική οικονομία.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Εργαστηριακές Σημειώσεις Χημείας - Χημικής Τεχνολογίας, Αργύρης Βατάλης & Λάζαρος Τσικριτζής, ΤΕΙ Κοζάνης - Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών - Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος
- [2]. www.scalefighter.com
- [3]. «Πύργοι Ψύξης & Αερόψυκτοι Συμπυκνωτές», Μαυρίδου Σοφία & Σταματίου Λυσίμαχος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας - Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων
- [4]. Φυσικές Διεργασίες - Εισαγωγή στον Υπολογισμό τους, Ασσαέλ Ι. Μάρκος & Μαγγιλιώτου Χ. Μαρία, Εκδόσεις Τζιόλα
- [5]. www.aqua-correct.dk
- [6]. www.chemistry.wustl.edu
- [7]. www.thekrib.com
- [8]. Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Κ. Ζανάκη, Εκδόσεις «ΙΩΝ»
- [9]. *Process Heat Transfer*, Kern, Εκδόσεις *Mc Graw - Hill Book Company*
- [10] *Modern Power Station Practice, Vol A - Station Planning and Design*, British Electricity International, Εκδόσεις Pergamon
- [11]. *Modern Power Station Practice, Vol C - Turbines, Generators and Associated Plant*, British Electricity International, Εκδόσεις Pergamon
- [12]. *Modern Power Station Practice, Vol G - Station Operation and Maintenance*, British Electricity International, Εκδόσεις Pergamon
- [13]. *The Nalco Water Handbook, Second Edition*, Mc Graw Hill Book Company
- [14]. «Το Κύκλωμα του Νερού Ψύξης στους Θερμικούς Σταθμούς - Προβλήματα και Αντιμετώπιση», Ιωαν. Νικολαΐδης και Αντ. Λογοθέτης, Τεχνολογία και Περιβάλλον - ΤΕΧΝΙΚΑ, Απρίλιος 1997

- [15]. «Cooling Tower Performance: Basic Theory and Practice», Cooling Tower Information Index, MARLEY
- [16]. Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί 2^η έκδοση, Εμμανουήλ Κ. Κακαράς, Εκδόσεις Φούντας
- [17]. «An Introduction to Cooling Water Treatment», NALCO Handbook
- [18]. Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής, Warren L. McCabe, Julian C. Smith και Peter Harriott, Εκδόσεις Τζιόλα
- [19]. Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Νικόλαος Ι. Λαμπράκης, Πανεπιστήμιο Πατρών - Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα 1998
- [20]. Εφαρμοσμένη - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τόμος Β 2^η έκδοση, Γ.Α. Καλλέργης, Έκδοση του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα 2000
- [21]. «Φίλτραση του Νερού Ψύξης», Τεχνικό Εγχειρίδιο ΤΕΜΑΚ - Επεξεργασία Νερού - Είδη Ατμού

1) Από το ανωτέρω διάγραμμα, η ολική ενθαλπία εισόδου H_{yB} (στον πυθμένα) του αέρα, προσδιορίζεται ως βρισκόμενη σε ισορροπία με τη θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_w . Η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου βρίσκεται ως εξής: Εξετάζονται τα διαγράμματα διακύμανσης της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου της μετεωρολογικής υπηρεσίας της περιοχής όπου θα λειτουργήσει ο ψυκτικός πύργος. Συγκεκριμένα εξετάζονται οι καλοκαιρινοί μήνες (1/6 - 30/9) καθότι αυτοί αντιπροσωπεύουν τη δυσχερέστερη περίοδο λειτουργίας του πύργου. Ως θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_w , λαμβάνεται η λεγόμενη «5% θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου» (Wet Bulb Design Temperature), η οποία αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία εκείνη, για την οποία ο χρόνος υπέρβασης αυτής είναι μικρότερος του 5% του συνολικού χρόνου των τεσσάρων καλοκαιρινών μηνών. Έχοντας προσδιορίσει τη θερμοκρασία T_w , καθορίζεται η ολική ενθαλπία H_{yB} .

2) Η θερμοκρασία εξόδου του νερού, T_{xB} , εφόσον δεν είναι γνωστή ή δεν αποτελεί απαίτηση, λαμβάνεται εμπειρικά συνήθως $4-6 \text{ }^\circ\text{C} > T_w$ που επιλέχθηκε στο προηγούμενο στάδιο. Επομένως έτσι καθορίζεται το σημείο Β, στο Σχήμα Π1.

3) Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ροής του αέρα, υπάρχουν τρεις εμπειρικοί τρόποι.

α) Από το διάγραμμα (Σχήμα Π1) (βρίσκεται η μέγιστη κλίση της γραμμής λειτουργίας, και συνεπώς η ελάχιστη ροή του αέρα $(G'_m)_{\min}$. Ο πύργος ακολούθως σχεδιάζεται για

$$G'_m = 2(G'_m)_{\min} \quad (1)$$

β) Η ροή του αέρα επιλέγεται έτσι ώστε,

$$1 < (G'_m / L'_m) < 5$$

γ) Η ροή του αέρα επιλέγεται έτσι ώστε η επιφανειακή του ταχύτητα (ταχύτητα βασισμένη σε άδειο πύργο) u_G (m/s), να κυμαίνεται

$$1,8 < u_G < 2,4$$

Και τα τρία κριτήρια χρησιμοποιούνται εξίσου στην πράξη.

4) Ο υπολογισμός της ολικής ενθαλπίας H_{yT} μπορεί να γίνει από ένα ισοζύγιο ενθαλπιών στον πύργο, εφόσον η ροή του αέρα υπολογίστηκε ήδη στο προηγούμενο στάδιο. Δηλαδή:

$$G'_m (H_{YT} - H_{YB}) = L'_m C_{PL} (T_{YT} - T_{YB}) \quad (2)$$

Από το ανωτέρω ισοζύγιο υπολογίζεται η ολική ενθαλπία H_{YT} , και συνεπώς ορίζεται το σημείο T στο διάγραμμα του Σχήματος Π1.

5) Με τη μέθοδο Baker βρίσκονται τα τρίγωνα, ο αριθμός, μονάδων μεταφοράς N'_G και συνεπώς το απαιτούμενο ύψος του πληρωτικού υλικού.

6) Υπολογισμός των υγρασιών και θερμοκρασιών του αέρα. Από τον ορισμό της ολικής ενθαλπίας, η ολική ενθαλπία του αέρα στην έξοδο του είναι

$$H_{YT} = C_s (T_{YT} - T_o) + \mathcal{H}_T (\lambda_o/M_A) \quad (3)$$

Στην ανωτέρω εξίσωση υπάρχουν δύο (άγνωστοι, η θερμοκρασία εξόδου του αέρα T_{YT} , και η υγρασία του \mathcal{H}_T . Επομένως χρειάζεται ακόμα μια εξίσωση.

$$G'_m dH_Y = (K_G)_Y (H_Y^* - H_Y) a dZ \quad (4)$$

Επίσης, καθότι η αύξηση της ενθαλπίας του αερίου και υδρατμών οφείλεται σε μεταφορά θερμότητας από τη διεπιφάνεια στον κύριο όγκο του αερίου, ισχύει

$$G'_m C_s dT_Y = h_Y (T_X - T_Y) a dZ \quad (5)$$

Στην ανωτέρω σχέση χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή ότι η αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας στην υγρή φάση είναι μηδαμινή και συνεπώς $T_I = T_X$. Διαιρώντας την Εξ.(4) με την Εξ.(5) κατά μέλη και χρησιμοποιώντας τη σχέση Lewis, $\frac{h_Y}{C_s (K_G)_Y} \approx 1$, προκύπτει ότι

$$\frac{dH_Y}{dT_Y} = \frac{H_Y^* - H_Y}{T_X - T_Y} \quad (6)$$

Η ανωτέρω σχέση μπορεί να λυθεί με αριθμητική ολοκλήρωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή σε συνδυασμό με την Εξ.(3).

7) Το νερό που χρειάζεται να προστεθεί, $\Delta L'_m$, καθότι μέρος του νερού εξατμίζεται, δίνεται από τη σχέση

$$\Delta L'_m = 1.1 G'_m A (\mathcal{H}_T - \mathcal{H}_B)$$

Ο παράγοντας 1.1 αποτελεί εμπειρική διόρθωση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2°

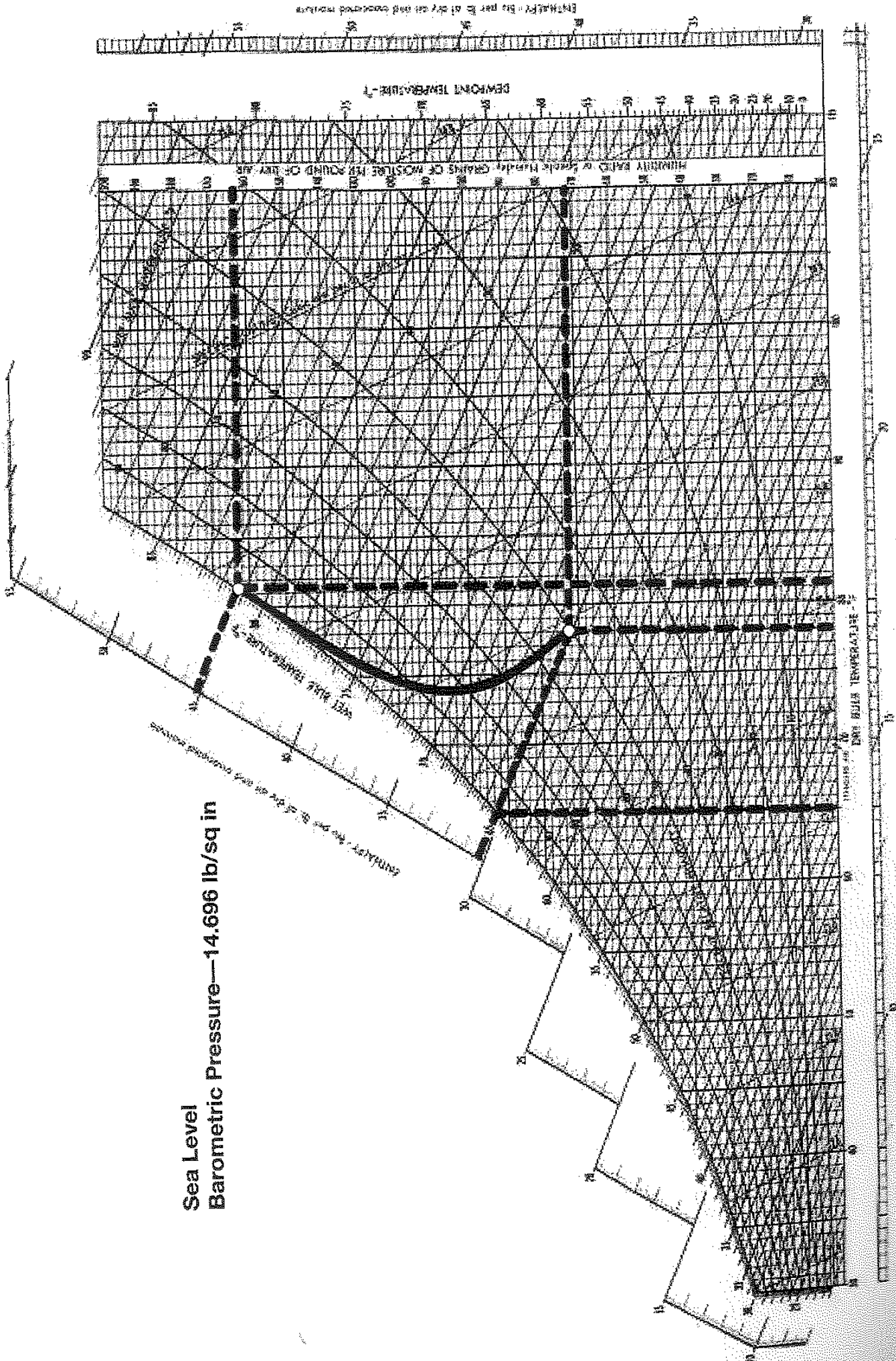
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ ΣΤΟΝ ΠΥΡΓΟ ΨΥΞΗΣ

Για να γίνει κατανοητή η ανταλλαγή θερμότητας που λαμβάνει χώρα σε ένα πύργο ψύξης θα θεωρήσουμε ένα πύργο σχεδιασμένο να ψύχει 120grm (1000 lb/min) νερού από τους 85°F στους 70 °F με μια θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου της τάξης των 65 °F και μια θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου 78 °F. (σημείο 1 στο ψυχομετρικό διάγραμμα). Επίσης θεωρούμε ότι ο αέρας διέρχεται από τον πύργο ψύξης με ρυθμό 1000 lb/min. Από τη στιγμή που οι ροές του αέρα και του νερού είναι ίσες μπορούμε να υποθέσουμε ότι ένα round αέρα έρχεται σε επαφή με ένα round νερού (η όλη πορεία παρουσιάζεται πάνω στο ψυχομετρικό διάγραμμα).

Ο αέρας εισέρχεται στον πύργο ψύξης (σημείο 1 - θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου 65°F και θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου 78 °F) και αρχίζει να αυξάνει η ενθαλπία και η υγρασία του στην προσπάθεια του να έρθει σε ισορροπία με το νερό. Αυτή η διαδικασία (συνεχής γραμμή στο ψυχομετρικό διάγραμμα) συνεχίζεται μέχρις ότου ο αέρας να εξέλθει από τον πύργο (σημείο 2). Οι διακεκομμένες γραμμές στο ψυχομετρικό διάγραμμα αναδεικνύουν τις παρακάτω διαφορές στις ψυχομετρικές ιδιότητες του αέρα εξαιτίας της επαφής αυτού με το νερό.

- Η ενθαλπία του αέρα αυξάνει από 30,1 Btu σε 45,1Btu. Αυτή η αύξηση της ενθαλπίας κατά 15Btu, αποκομίσθηκε από το νερό. Συνεπακόλουθα, ένα round νερό μείωσε τη θερμοκρασία του κατά 15°F.
- Η υγρασία του αέρα αυξήθηκε από 72 grains σε 163 grains (7000grains =1 lb). Αυτά τα 91grains υγρασίας (0,013 lbs νερού) εξατμίστηκαν από το νερό με μια λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης αυτού ίση με 1000Btu/lb. Αυτό σημαίνει ότι περίπου 13 από τα 15 Btu που αφαιρέθηκαν από το νερό (86% της συνολικής ποσότητας) απομακρύνθηκαν μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης.

Sea Level
Barometric Pressure—14.696 lb/sq in



Παράρτημα 3° (Process Heat Transfer, Mc Graw Hill)

$$Q = A * U_d * \Delta T_{log}$$

$$U_d = C_{cl} * C_t * C_L * C_T * V^{0.5}$$

$$\Delta T_{log} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)$$

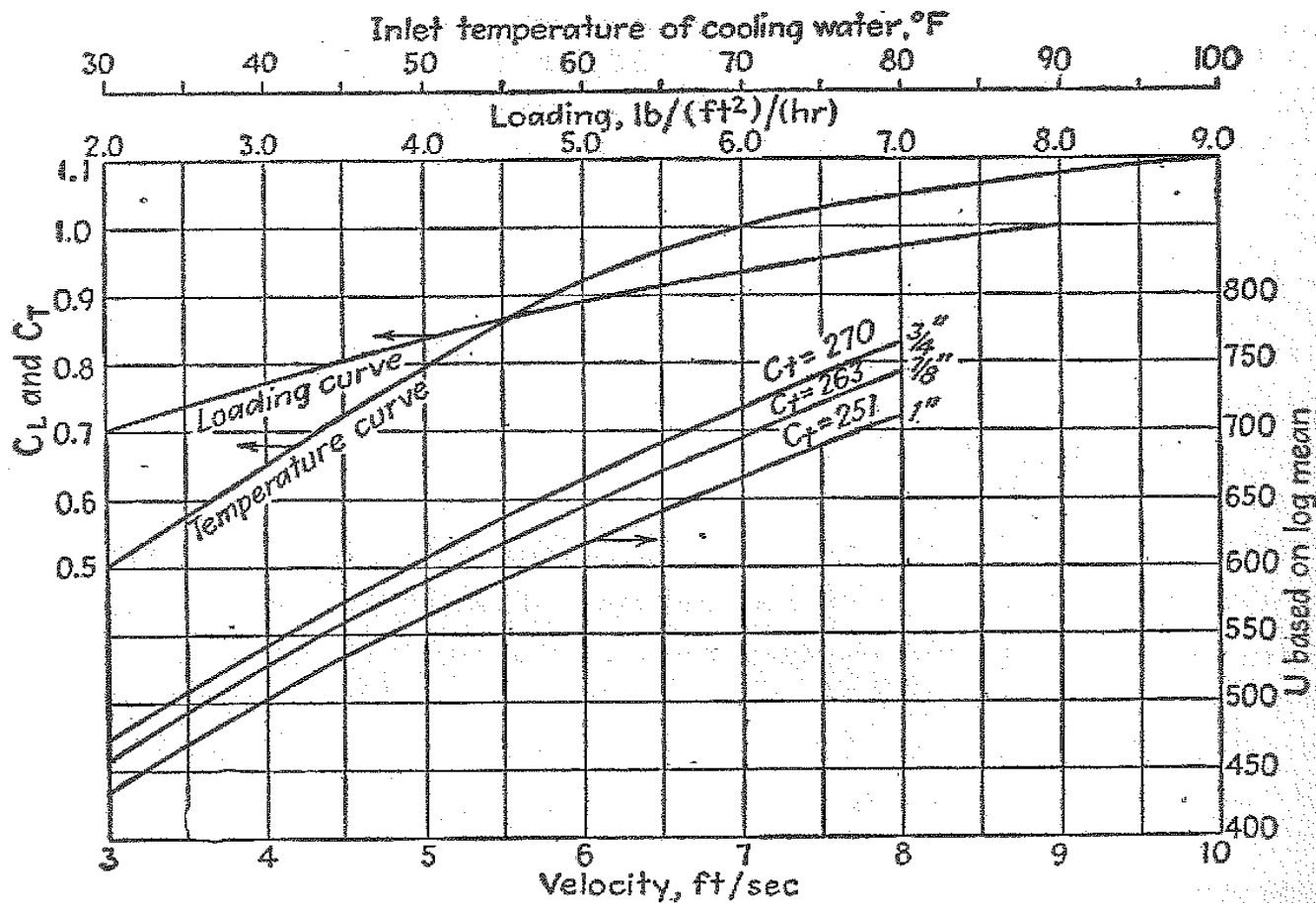


FIG. 12.28. Overall coefficients in surface condensers. (Heat Exchange Institute)