



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ  
ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ SOVEL A.E.**

υπό

**ΚΑΤΣΙΝΑΡΗ ΙΩΑΝΝΗ**

Διπλωματούχου Χημικού Μηχανικού Α.Π.Θ., 2005

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2007

Δ  
621.560 11  
ΚΑΤ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5313/1  
Ημερ. Εισ.: 14-05-2007  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
621.560 11  
ΚΑΤ

© 2007 Κατσινάρης Ιωάννης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Πενταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Γρηγόρης Χαϊδεμενόπουλος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τέταρτος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πέμπτος Εξεταστής Δρ. Μιχαήλ Βλαχογιάννης  
Διδάσκων στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Ανδρίτσο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Βασίλειο Μποντόζογλου και Γρηγόρη Χαϊδεμενόπουλο, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Παναγιώτη Τσιακάρα και τον Διδάσκων του τμήματος Μηχανολόγων κ. Μιχαήλ Βλαχογιάννη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στην κ. Άννα Ζερβάκη για την καθοριστική συμβολή της στη συγγραφή του Κεφαλαίου 6 καθώς και για την αρωγή της στην χρήση του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Υλικών, του Τομέα Μηχανικής, Υλικών & Κατεργασιών, που λειτουργεί υπό την επίβλεψη του κ. Γρηγόρη Χαϊδεμενόπουλου.

Ευχαριστώ τον κ. Γεώργιο Σουλιτζή, Γενικό Διευθυντή του εργοστασίου της εταιρείας επεξεργασίας χάλυβος SOVEL A.E., που μου παρείχε την δυνατότητα εκπόνησης της παρούσας εργασίας στις εργοστασιακές εγκαταστάσεις της εταιρείας, τον κ. Γεώργιο Μπουγανασόπουλο, Τεχνικό Διευθυντή του τμήματος του Χαλυβουργείου, για την υποστήριξη του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας καθώς και για την βοήθεια του σε τεχνικά θέματα που άπτονται αυτής, την κ. Μαρία Κοτρώτσου, Υπεύθυνη του Χημείου, για την καθοριστική συμβολή και αρωγή της στην συγγραφή όλων των κεφαλαίων της παρούσας εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ όλους τους προϊστάμενους και τους εργαζόμενους των τμημάτων του Χαλυβουργείου και του Αντλιοστασίου για το άνετο και φιλικό κλίμα που δημιούργησαν στη διάρκεια των πέντε μηνών, που απασχολήθηκα στην εταιρεία. Ευχαριστώ τους φοιτητές του Εργαστηρίου Υλικών για την συνεργασία τους.

Πάνω απ' όλα ευχαριστώ τους γονείς μου Δημήτριο και Νίκη Κατσινάρη. Η αστείρευτη αγάπη, συμπαράσταση και υποστήριξή τους αποτελεί για μένα σημείο αναφοράς και εφελτήριο για την επίτευξη των στόχων μου. Αφιερώνω την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία στην μητέρα μου, στον πατέρα μου και στον αδερφό μου Βαΐτση.

Κατσινάρης Γιάννης

# ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ SOVEL A.E.

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΤΣΙΝΑΡΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, 2007

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος, Επίκουρος Καθηγητής  
Πειραματικών Φαινομένων Μεταφοράς

## Περίληψη

Σε αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία επιχειρείται ο εντοπισμός, η καταγραφή και η ερμηνεία των προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων που σχετίζονται με την λειτουργία των ψυκτικών κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου της εταιρείας SOVEL A.E.

Από την διενέργεια των ισοζυγίων του νερού του Χαλυβουργείου αλλά και από τον προσδιορισμό της ποιότητάς του, διαπιστώνεται η ποσοτική και ποιοτική απόκλιση του από τις προδιαγραφές που έχει θέσει η κατασκευάστρια εταιρεία των κυκλωμάτων, Danieli. Κύρια αιτία για την ύπαρξη των αποκλίσεων αυτών θεωρείται η ποσοτική και ποιοτική ανεπάρκεια του φρέσκου νερού που τροφοδοτείται από τις υφιστάμενες γεωτρήσεις του εργοστασίου. Σε ένα μικρότερο βαθμό, το νερό αποκλίνει από τις ποιοτικές προδιαγραφές του και λόγω της αδυναμίας προεπεξεργασίας του από τον υφιστάμενο εξοπλισμό (αδυναμία παροχής 100% απαλκαλιωμένου νερού).

Με την χρήση των απλών δεικτών κορεσμού (Langelier, Ryznar, Puckorius) αλλά και διάβρωσης (Larson – Skold) επιχειρείται η πρόβλεψη της τάσης των νερών του Χαλυβουργείου ως προς την διάβρωση ή τις επικαθίσεις ασβεστίτη. Τα νερά όλων των κυκλωμάτων παρουσιάζουν έντονη διαβρωτική τάση, που επιβεβαιώνεται και από τους «μάρτυρες» διάβρωσης, ενώ δεν παρουσιάζουν έντονες τάσεις για την δημιουργία επικαθίσεων ασβεστίτη. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν και με την χρήση του υπολογιστικού μοντέλου HYDRAQL, με το οποίο βρέθηκε ο βαθμός υπερκορεσμού του ασβεστίτη αλλά και άλλων κοινών τύπων καθαλατώσεων.

Τέλος, με την βοήθεια μεταλλογραφικών αναλύσεων πάνω σε δοκίμια χάλυβα, που αποτελούσαν μέρος των ψυκτικών κυκλωμάτων του κλιβάνου του Χαλυβουργείου, επιχειρήθηκε ο εντοπισμός των αιτιών των ρωγμών που αυτά παρουσίασαν στις εξωτερικές τους επιφάνειες. Διαπιστώθηκε ότι για τις περιπτώσεις αυτές, η διάβρωση οφείλεται κυρίως σε εξωτερικούς παράγοντες και πιο συγκεκριμένα, στις αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν και στην πιθανή χαμηλή ποιότητα του καυσίμου, που έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ιδιαίτερος διαβρωτικών καυσαερίων.

## Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	- 1 -
1.1. Οργάνωση και Δομή της Μεταπτυχιακής Εργασίας .....	- 1 -
1.2. Νερό – Βιομηχανικό Νερό – Συστήματα Νερού Ψύξης.....	- 2 -
1.3. Το πρόβλημα της επάρκειας και της ποιότητας του νερού.....	- 3 -
1.4. Ο ρόλος και η σημασία του νερού στην ανθρώπινη ιστορία και σκέψη .....	- 4 -
1.5. Υδρολογικός Κύκλος.....	- 5 -
1.6. Παγκόσμια Κατανομή του Νερού .....	- 8 -
1.7. Δομή - Ιδιότητες – Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του νερού.....	- 9 -
1.8. Χρήσεις του νερού.....	- 14 -
2. Ψυκτικά Κυκλώματα Νερού.....	- 17 -
2.1. Τύποι Συστημάτων νερού ψύξης .....	- 18 -
2.2. Οι πύργοι ψύξης στα ανοικτά συστήματα ανακυκλοφορίας .....	- 20 -
2.2.1. Αρχή Λειτουργίας του πύργου ψύξης.....	- 21 -
2.2.2. Ισοζύγια νερού στον πύργο ψύξης.....	- 22 -
2.2.3. Ταξινόμηση των πύργων ψύξης.....	- 25 -
3. Εμφάνιση Προβλημάτων στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης – Αναγνώριση - Αντιμετώπιση.....	- 27 -
3.1. Προβλήματα Διάβρωσης στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης .....	- 29 -
3.1.1. Θεωρία της διάβρωσης από το νερό .....	- 29 -
3.1.2. Διάκριση – Ταξινόμηση διαφόρων τύπων διάβρωσης .....	- 31 -
3.1.3. Λειτουργικοί Παράμετροι που επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης.....	- 35 -
3.2. Αντιμετώπιση Προβλημάτων Διάβρωσης στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης. -	38 -
3.3. Προβλήματα Επικαθίσεων (αποθέσεων) στα Κυκλώματα.....	- 41 -
3.3.1. Καθαλατώσεις.....	- 42 -
3.3.2. Δείκτες Εκτίμησης της Συμπεριφοράς του Νερού .....	- 48 -
3.3.3. Ρύπανση Επικαθίσεων (fouling).....	- 54 -
3.3.4. Η ανάπτυξη μικροοργανισμών στα κυκλώματα νερού ψύξης.....	- 55 -
3.4. Αντιμετώπιση Προβλημάτων Επικαθίσεων στα Κυκλώματα.....	- 57 -
3.4.1. Τρόποι καταπολέμησης των μικροοργανισμών.....	- 61 -
4. Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης και Ψυκτικά Κυκλώματα της SOVEL A.E. ....	- 63 -
4.1. Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης.....	- 64 -
4.1.1. Διάταξη Απαλκαλίωσης Νερού Συμπλήρωσης .....	- 67 -
4.1.2. Διάταξη Αποσκλήρυνσης Νερού Συμπλήρωσης Χαλυβουργείου.....	- 69 -
4.2. Ισοζύγια νερού (Εγκατάσταση Επεξεργασίας).....	- 70 -
4.1.2. Κατανάλωση νερού σε σχέση με το προϊόν.....	- 73 -
4.3. Γενική περιγραφή των Κυκλωμάτων Νερού Ψύξης του Χαλυβουργείου. -	77 -
4.3.1. Κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας QW/QWR .....	- 78 -
4.3.2. Ανοικτό Κύκλωμα ανακυκλοφορίας έμμεσης επαφής CW/CWR.....	- 80 -

4.3.3. Ανοικτό Κύκλωμα ανακυκλοφορίας άμεσης επαφής KW/KWR.....	- 83 -
4.3.4. Κύκλωμα Έκτακτης Ανάγκης EW.....	- 88 -
4.4. Ισοζύγια νερού (Κυκλώματα Ανακυκλοφορίας Χαλυβουργείου).....	- 88 -
4.4.1. Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Ανακυκλοφορίας .....	- 89 -
4.4.2. Απώλειες Λόγω Εξατμίσεων στα Ανοικτά Κυκλώματα.....	- 91 -
4.4.3. Απώλειες Λόγω Απομαστεύσεων στα Ανοικτά Κυκλώματα .....	- 92 -
5. Ποιότητα Νερού.....	- 99 -
5.1. Ποιότητα Νερού Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου .....	- 101 -
5.1.1. Νερό Συμπλήρωσης Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυμένο).....	- 106 -
5.1.2. Νερό Συμπλήρωσης Ανοικτών Κυκλωμάτων CW/CWR και KW/KWR (60 % απαλκαλιωμένο, 40 % αποσκληρυμένο) .....	- 107 -
5.1.3. Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυμένο).....	- 109 -
5.1.4 Δείκτες για την Εκτίμηση της Συμπεριφοράς του Νερού Συμπλήρωσης του Χαλυβουργείου .....	- 111 -
5.2. Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού στα Κυκλώματα του Χαλυβουργείου .....	- 113 -
5.2.1. Ανακυκλοφορούμενο Νερό Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR .....	- 113 -
5.2.2. Ανακυκλοφορούμενο Νερό Ανοικτού Κυκλώματος έμμεσης επαφής CW/CWR.....	- 128 -
5.2.3. Ανακυκλοφορούμενο Νερό Ανοικτού Κυκλώματος άμεσης επαφής KW/KWR.....	- 137 -
6. Διερεύνηση Προβλημάτων Διάβρωσης σε Ψυκτικούς Αγωγούς.....	- 141 -
6.1. Μεταλλογραφικές Αναλύσεις .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
6.2. Συμπεράσματα των Αναλύσεων .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
6.3. Προτάσεις .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
7. Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας .....	- 147 -
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'</b> .....	- 151 -
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'</b> .....	- 152 -
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ'</b> .....	- 165 -



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1	Εκτίμηση της Παγκόσμιας Κατανομής Νερού	- 9 -
Πίνακας 1.2	Κύριες Ιδιότητες του Νερού	- 11 -
Πίνακας 1.3	Χημικά Χαρακτηριστικά Νερού	- 13 -
Πίνακας 1.4	Χρήση Νερού σε διάφορες Χώρες	- 16 -
Πίνακας 3.1	Δραστικότητα Αντιδιαβρωτικών σε διάφορα υλικά κατασκευής	- 40 -
Πίνακας 3.2	Ερμηνεία των τιμών του Δείκτη <i>LSI</i>	- 49 -
Πίνακας 4.1	Παροχή Φρέσκου Νερού από τις τέσσερις πομόνες για το έτος 2006	- 64 -
Πίνακας 4.2	Τεχνικά Χαρακτηριστικά εγκατάστασης Απαλκαλίωσης SOVEL A.E.	- 68 -
Πίνακας 4.3	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διάταξης Αποσκλήρυνσης Νερού Χαλυβουργείου	- 69 -
Πίνακας 4.4	Ισοζύγια Νερού για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας	- 71 -
Πίνακας 4.5	Ανάλυση Καταναλώσεων για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης	- 72 -
Πίνακας 4.6	Δυναμικότητα και Ανάγκες σε Νερό του Χαλυβουργείου	- 74 -
Πίνακας 4.7	Χαρακτηριστικά και Ισοζύγια Νερού για το Κλειστό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας QW/QWR	- 79 -
Πίνακας 4.8	Χαρακτηριστικά και Ισοζύγια Νερού για το Ανοικτό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας CW/CWR	- 82 -
Πίνακας 4.9	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φρεατίου Πρωτογενούς Καθαρισμού 81M2402	- 84 -
Πίνακας 4.10	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μονάδας Διήθησης Χαλαζιακής Άμμου 81M2102	- 85 -
Πίνακας 4.11	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παχυντή Λάσπης 81M2502	- 86 -
Πίνακας 4.12	Χαρακτηριστικά Πύργου Ψύξης 81M1103 και Ισοζύγια Νερού για το Ανοικτό Κύκλωμα ανακυκλοφορίας KW/KWR	- 87 -
Πίνακας 4.13	Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006	- 89 -
Πίνακας 4.14	Συνολικό Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006	- 90 -
Πίνακας 4.15	Απώλειες και ανάγκες σε Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου, βάσει προδιαγραφών	- 90 -
Πίνακας 4.16	Εξατμίσεις Ανοικτών Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006	- 92 -
Πίνακας 4.17	Εκτιμώμενες και Πραγματικές Απομαστεύσεις για το Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας CW/CWR για το έτος 2006	- 93 -
Πίνακας 4.18	Πραγματικές Απομαστεύσεις για το Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας KW/KWR για το έτος 2006	- 96 -

Πίνακας 5.1	Ποιότητα Νερού Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων για το έτος 2006	- 101 -
Πίνακας 5.2	Τιμές Προδιαγραφών, μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις νερού συμπλήρωσης για το έτος 2006	- 103 -
Πίνακας 5.3	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερού Πομωτών για το έτος 2006	- 104 -
Πίνακας 5.4	Αποκλίσεις Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης από Προδιαγραφές	- 105 -
Πίνακας 5.5	Νερό Συμπλήρωσης Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR (100% απαλκαλιωμένο, 100% αποσκληρυμένο)	- 106 -
Πίνακας 5.6	Νερό Συμπλήρωσης Ανοικτών Κυκλωμάτων CW/CWR & KW/KWR (60% απαλκαλιωμένο, 40% αποσκληρυμένο)	- 108 -
Πίνακας 5.7	Νερό Συμπλήρωσης Ανοικτών Κυκλωμάτων CW/CWR & KW/KWR (100% απαλκαλιωμένο, 100% αποσκληρυμένο)	- 110 -
Πίνακας 5.8	Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Συμπλήρωσης για το έτος 2006	- 111 -
Πίνακας 5.9	Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006	- 114 -
Πίνακας 5.10	Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Ανακυκλοφορίας Κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006	- 115 -
Πίνακας 5.11	Δείκτες Langelier και Ryznar και βαθμός Υπερκορεσμού Αβεστίτη για το Νερό Ψύξης του Κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006	- 118 -
Πίνακας 5.12	Υπολογισμός του pH κορεσμού του πυριτικού μαγνησίου για το κλειστό Κύκλωμα QW/QWR	- 121 -
Πίνακας 5.13	Μέσοι Ετήσιοι Ρυθμοί Διάβρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006	- 123 -
Πίνακας 5.14	Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006	- 128 -
Πίνακας 5.15	Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Ανακυκλοφορίας Κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006	- 131 -
Πίνακας 5.16	Τιμές του Δείκτη των Larson – Skold του νερού ψύξης του ανοικτού κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006	- 134 -
Πίνακας 5.17	Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού Ανοικτού Κυκλώματος KW/KWR για το έτος 2006	- 137 -
Πίνακας 5.18	Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Ανακυκλοφορίας Κυκλώματος KW/KWR για το έτος 2006	- 138 -

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1	Υδρολογικός Κύκλος	- 6 -
Σχήμα 1.2	Η Παγκόσμια Κατανομή του Νερού	- 8 -
Σχήμα 2.1	Συστήματα Νερού Ψύξης	- 18 -
Σχήμα 2.2	«Υπερβολικοί» Πύργοι Ψύξης στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου Κοζάνης	- 19 -
Σχήμα 2.3	Πύργοι Ψύξης με Φυσική Ροή Αέρα	- 25 -
Σχήμα 2.4	Πύργοι Ψύξης με εξαναγκασμένη ροή Αέρα	- 26 -
Σχήμα 3.1	Κλασσικό «κελί διάβρωσης»	- 31 -
Σχήμα 3.2	«Κελί συγκέντρωσης» κάτω από επικαθίσεις	- 33 -
Σχήμα 3.3	Επίδραση pH στον ρυθμό διάβρωσης του σιδήρου	- 36 -
Σχήμα 3.4	Επίδρασή της συγκέντρωσης οξυγόνου στον ρυθμό διάβρωσης σε διάφορες θερμοκρασίες	- 36 -
Σχήμα 3.5	Επίδρασή της αγωγιμότητας στον ρυθμό διάβρωσης	- 38 -
Σχήμα 3.6	Χρόνος επαγωγής μιας αντίδρασης με και χωρίς αντικαθαλατωτικά	- 44 -
Σχήμα 3.7	Διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου και του θειϊκού ασβεστίου, απουσία χημικής επεξεργασίας	- 46 -
Σχήμα 4.1	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης της εταιρείας SOVEL A.E.	- 66 -
Σχήμα 4.2	Φίλτρο Διήθησης	- 65 -
Σχήμα 4.3	Ανάλυση Καταναλώσεων για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης	- 73 -
Σχήμα 4.4	Δυναμικότητα και Ανάγκες σε Νερό του Χαλυβουργείου	- 76 -
Σχήμα 4.5	Αγωγιμότητα, Νερό Συμπλήρωσης και Απώλειες Απομαστεύσεων για το Ανοικτό κύκλωμα έμμεσης επαφής για το έτος 2006	- 94 -
Σχήμα 4.6	Νερό Συμπλήρωσης και Απώλειες Νερού για ανοικτό κύκλωμα KW/KWR για το έτος 2006	- 97 -
Σχήμα 4.7	Αγωγιμότητα νερού για το ανοικτό κύκλωμα KW/KWR για το έτος 2006	- 98 -
Σχήμα 5.1	Μεταβολή των μέσων μηνιαίων τιμών του Συνόλου των Διαλυμένων Στερεών (TDS) του Νερού Συμπλήρωσης για το έτος 2006	- 113 -
Σχήμα 5.2	Ισοζύγιο Ασβεστίου για το Κύκλωμα QW/QWR για το έτος 2006	- 117 -
Σχήμα 5.3	Μεταβολή των συγκεντρώσεων των αναστολέων διάβρωσης του Κλειστού Κυκλώματος για το έτος 2006	- 119 -
Σχήμα 5.4	Προσδιορισμός της εξίσωσης Mg Hardness – Magnesium Factor	- 120 -

Σχήμα 5.5	Προσδιορισμός της εξίσωσης Water Temperature – Temperature Factor	- 120 -
Σχήμα 5.6	Μεταβολή των Βαθμών Υπερκορεσμού πυριτικών αλάτων για το κύκλωμα QW/QWR για το έτος 2006	- 122 -
Σχήμα 5.7	Ισοζύγιο Σιδήρου για το κύκλωμα QW/QWR για το έτος 2006	- 125 -
Σχήμα 5.8	Μεταβολή των χλωριόντων, των θειϊκών ιόντων και του Δείκτη Larson – Skold του νερού ψύξης του Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006	- 126 -
Σχήμα 5.9	Ισοζύγιο Ασβεστίου για το κύκλωμα CW/CWR για το έτος 2006	- 132 -
Σχήμα 5.10	Ισοζύγιο Σιδήρου για το Κύκλωμα CW/CWR για το έτος 2006	- 135 -
Σχήμα 5.11	Ισοζύγιο Ασβεστίου για το Κύκλωμα KW/KWR για το έτος 2006	- 139 -

## 1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η οργάνωση και η δομή της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και παρουσιάζονται πληροφορίες και πτυχές εισαγωγικού χαρακτήρα που παρέχουν το κίνητρο και το υπόβαθρο της εκπόνησης της.

### 1.1. Οργάνωση και Δομή της Μεταπτυχιακής Εργασίας

Αρχικά, στα Κεφάλαια 1, 2 και 3, γίνεται η παράθεση κάποιων βασικών στοιχείων και αρχών που αφορούν το ίδιο το νερό ως φυσική πρώτη ύλη, τη χρήση του στην βιομηχανία, τη λειτουργία των ψυκτικών κυκλωμάτων κυκλοφορίας του καθώς και των προβλημάτων που συναντώνται συνήθως στην βιομηχανική πρακτική.

Στο Κεφάλαιο 4, μετά από την περιγραφή των κυκλωμάτων του νερού ψύξης του Χαλυβουργείου, επιχειρείται μια ποσοτική προσέγγιση της λειτουργίας τους με βάση τα αρχεία του εργοστασίου. Κατόπιν, λαμβάνει χώρα η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας Danieli.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 5, με βάση τις αναλύσεις και τις μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών - παραμέτρων του νερού, επιχειρείται ο εντοπισμός της εμφάνισης προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων στα κυκλώματα. Τα μέσα και οι μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι η σύγκριση των τιμών των ποιοτικών παραμέτρων, με τις προδιαγραφές της Danieli και η εκτίμηση των αποκλίσεων που παρατηρούνται. Επίσης, για τον ίδιο σκοπό χρησιμοποιούνται και κάποιοι Δείκτες Κορεσμού – Συμπεριφοράς του νερού καθώς και το υπολογιστικό μοντέλο HYDRAQL, ενώ βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους «μάρτυρες» διάβρωσης, διαπιστώνεται κατά πόσο οι αναμενόμενες συμπεριφορές του νερού ψύξης ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, εξετάζονται με τη βοήθεια μεταλλογραφικών αναλύσεων προβλήματα διάβρωσης, που παρατηρούνται στα ψυκτικά κυκλώματα του κλιβάνου του Χαλυβουργείου και οδηγούν στην αστοχία του υλικού (εμφάνιση ρωγμών) από το οποίο αποτελούνται.

## ***1.2. Νερό – Βιομηχανικό Νερό – Συστήματα Νερού Ψύξης***

Ο πρωταρχικός ρόλος του νερού στην ανάπτυξη, στην εξέλιξη και στην διασφάλιση της ζωής στον πλανήτη είναι αδιαμφισβήτητος. Για τον άνθρωπο, το νερό αποτελεί το βασικό είδος της διατροφής του, ενώ παράλληλα αποτελεί μια από τις απαραίτητες πρώτες ύλες της πρωτογενούς παραγωγής, όπως είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία, και της δευτερογενούς παραγωγής, όπως είναι η βιομηχανία. Η χρήση και η συμμετοχή του νερού σε κάθε παραγωγική δραστηριότητα προσδιορίζει πλέον τη δυνατότητα ή την αδυναμία επέκτασης των παραγωγικών δραστηριοτήτων, καθορίζοντας και την αποδοτικότητα τους. Συγχρόνως, υπό το πρίσμα της αύξησης του πληθυσμού της Γης και της εντατικοποίησης που αυτή συνεπάγεται στην παραγωγή των αγαθών, η παρουσία και η επάρκεια του νερού γίνονται ολοένα και πολυτιμότερες.

Πιο συγκεκριμένα για το βιομηχανικό νερό, το μεγαλύτερο μέρος του που καταναλώνει μια χημική βιομηχανία (ή μια ατμοηλεκτρική μονάδα) χρησιμοποιείται για την ψύξη μιας διεργασίας ή ενός προϊόντος. Η ανεπάρκεια των υδάτινων αποθεμάτων, το αυξημένο κόστος του νερού και οι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί περιορισμοί έχουν αλλάξει τους όρους του παιχνιδιού αναφορικά με το νερό ψύξης. Τα **συστήματα του νερού ψύξης** (cooling water systems) ανάλογα με το είδος και τον τύπο τους μπορεί να περιλαμβάνουν την χρήση πύργων ψύξης με ανακυκλοφορία νερού (ανοικτά κυκλώματα ανακυκλοφορίας), επιτυγχάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο εξοικονόμηση του νερού έως και 90 % σε σχέση με το νερό που χρησιμοποιείται στα συστήματα απλής διαδρομής.

Από τα παραπάνω καθίσταται εμφανές ότι η δυνατότητα διάθεσης του νερού ψύξης αλλά και η ποιότητα του διαθέσιμου νερού καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας των συστημάτων νερού ψύξης. Πριν παρατεθεί μια πιο λεπτομερής περιγραφή των συστημάτων, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στο φυσικό νερό και στα κύρια χαρακτηριστικά του αφού αυτό αποτελεί την τροφοδοσία των συστημάτων αυτών.

### ***1.3. Το πρόβλημα της επάρκειας και της ποιότητας του νερού***

Κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα, η χρησιμοποίηση φρέσκου νερού αυξήθηκε δύο φορές γρηγορότερα από τον παγκόσμιο πληθυσμό, ο οποίος τριπλασιάστηκε [27]. Στις μέρες μας, το πόσιμο νερό αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της ανθρωπότητας. Οι συζητήσεις για την έλλειψη πόσιμου νερού μπορεί να αφορούν συνήθως την Αφρική, αλλά, όπως προκύπτει από έκθεση που παρουσιάστηκε στο 4<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Φόρουμ για το νερό στο Μεξικό, οι άνθρωποι που στερούνται επαρκούς πρόσβασης σε πόσιμο νερό στην Ευρώπη ανέρχονται σε 41 εκατομμύρια. Εκείνοι δε που ζουν σε περιοχές χωρίς αποχετευτικό σύστημα και βασικές συνθήκες υγιεινής φτάνουν τα 85 εκατομμύρια [28].

Αν και οι πληθυσμοί της Ευρώπης αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των ανθρώπων που δεν έχουν αρκετό νερό ή των ανθρώπων που στερούνται συνθηκών υγιεινής παγκοσμίως, η έκθεση δείχνει ότι το πρόβλημα του νερού μπορεί να επηρεάσει με τον ένα ή τον άλλο τρόπο ακόμη και μερικές από τις πιο ανεπτυγμένες χώρες. Κι αυτό σε μια ήπειρο που επιδιώκει συχνά να εξαγάγει την τεχνογνωσία της σε θέματα υδάτινων πόρων. Οι χώρες της νότιας Ευρώπης είναι για παράδειγμα ευάλωτες σε ξηρασίες, ενώ αυτές της βόρειας κινδυνεύουν από πλημμύρες και όλες μαζί πρέπει να σταθούν αρωγοί στην προσπάθεια επιδιόρθωσης των παμπάλαιων υδρευτικών δικτύων των ανατολικοευρωπαϊκών κρατών [28].

Η Ελλάδα, όπως εξάλλου και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με ένα μείζον οικολογικό πρόβλημα, αυτό της απειλούμενης λειψυδρίας. Το πρόβλημα αυτό οφείλεται σε μια σειρά από αίτια όπως η έλλειψη σχεδιασμού, η κακή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των φυσικών νόμων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών[30].

Υπό το πρίσμα των νέων εξελίξεων και δεδομένων στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ύδατος (World Water Council) έχει θέσει σαν στόχο την μείωση του αριθμού των ανθρώπων χωρίς πρόσβαση σε καθαρό νερό και βασική υγιεινή κατά το ήμισυ μέχρι το 2015 [32,34]. Για την επίτευξη αυτού του στόχου αλλά και για την αποκατάσταση των ανισορροπιών του παγκοσμίου ύδατος, μερικοί εμπειρογνώμονες υποστηρίζουν την εξαγωγή του από πλεονασματικές χώρες προς τις ελλειμματικές. Δυστυχώς η λύση αυτή δεν είναι ρεαλιστική καθότι το νερό είναι “ευαίσθητο” αγαθό σε βιοχημικούς όρους, απαιτώντας εξαιρετικά προσεκτικό χειρισμό κατά την διάρκεια της μεταφοράς του. Η αντιμετώπιση της έλλειψης νερού επομένως θα πρέπει να αναζητηθούν τοπικά, με μέτρα όπως η βελτίωση της αποδοτικότητας στην άρδευση, η αφαλάτωση των υφάλμυρων ή/ και των θαλασσινών νερών και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών με σκοπό αφ’ ενός την αλλαγή κάποιων συνηθειών τους και αφ’ ετέρου τη χρήση απλών τεχνολογιών εξοικονόμησης του νερού.

#### ***1.4. Ο ρόλος και η σημασία του νερού στην ανθρώπινη ιστορία και σκέψη***

Σε όλη την διάρκεια της ιστορικής διαδρομής της ανθρωπότητας το νερό υπήρξε γι’ αυτήν πηγή ζωής, πλούτου αλλά και λατρείας. Το νερό βοήθησε τον άνθρωπο να συνειδητοποιήσει γρήγορα την δύναμή του, κατατάσσοντάς το έτσι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της φύσης, αλλά ταυτόχρονα τον προκάλεσε και τον προκαλεί σε ένα συνεχή αγώνα για την κατάκτηση του.



Δεν είναι λοιπόν τυχαία η θεοποίηση του νερού από όλους τους αρχαίους πολιτισμούς, από τους Ινδιάνους και τους Ίνκας της Αμερικής, τους αρχαίους Έλληνες και Αιγυπτίους, μέχρι τους Σαμάνους και Βαβυλώνιους της Ασίας.

Η δύναμη του έγινε αφορμή να πεθάνουν εκατομμύρια άνθρωποι γι' αυτό αλλά ταυτόχρονα και μέσο ζωής και αναγέννησης, αφού ακόμα και το σώμα μας αποτελείται από νερό. Ειδικότερα, το 70% του βάρους ενός ώριμου ατόμου είναι νερό.

Για τον Θαλή, η πρώτη απόλυτη αρχή των πάντων ήταν το Ύδωρ, από το οποίο είναι δημιουργημένα τα πάντα, σε διάφορους σχηματισμούς και μεταλλάξεις του, ήταν μια ζωτική αρχή του κόσμου, δηλαδή αυτό που έδινε ζωή διεισδύοντας παντού, ακόμη και στο πιο μικρό μόριο της πέτρας. Η γνώση της αλληλεπίδρασης αυτής από εσωτερικούς κύκλους των σημερινών υπαρχουσών θρησκειών είναι συνυφασμένη με αρκετά μυστήρια που εκτελούνται μέσα σε αυτές, όπως η βάπτιση, ο αγιασμός των Υδάτων, τελετές σε ποτάμια, καθαρμούς σωμάτων καθώς και το ράντισμα των πιστών απ' αυτό, σε βαθμό που αποδεικνύουν την επίδραση της μαγικής του δύναμης πάνω στον άνθρωπό[28].

### **1.5. Υδρολογικός Κύκλος**

Η πεπερασμένη ποσότητα του νερού που βρίσκεται στον πλανήτη συμμετέχει σε μία πολύπλοκη ανακυκλούμενη πορεία που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του. Αυτή η πορεία ανακύκλωσης του νερού ονομάζεται “υδρολογικός κύκλος” (Σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1. Υδρολογικός Κύκλος [23]

Η περιγραφή του υδρολογικού κύκλου είναι βολικό να ξεκινήσει απ' τη θάλασσα. Εξαιτίας της ακτινοβολίας του ήλιου, που αποτελεί την κινητήριο δύναμη του κύκλου, το νερό των θαλασσών (ωκεανών) εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Το ίδιο συμβαίνει και με ένα μέρος των νερών λιμνών, των ποταμιών και του εδάφους. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η **εξάτμιση** και **διαπνοή** από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για **εξατμοδιαπνοή**. Επίσης, μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

Οι υδρατμοί με την βοήθεια των ανοδικών ρευμάτων του αέρα εισέρχονται στα ανώτερα στρώματα, όπου επικρατούν μικρότερες πιέσεις με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασίες), ο αέρα αδυνατεί να συγκρατήσει όλη τη μάζα των υδρατμών, με αποτέλεσμα ένα μέρος τους να συμπυκνώνεται, σχηματίζοντας τα σύννεφα. Τα σύννεφα με την βοήθεια των ρευμάτων του αέρα κινούνται γύρω από την υδρόγειο.

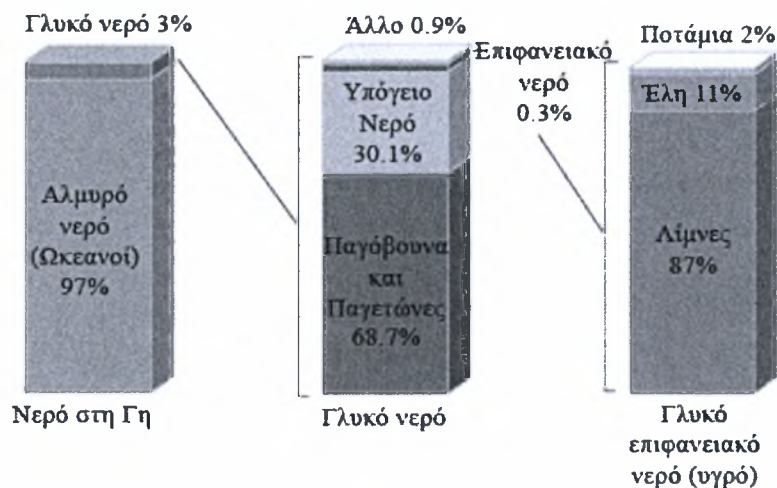
Τα σταγονίδια του νερού, που αποτελούν τους σχηματισμούς των σύννεφων συγκρούονται αυξάνοντας ολοένα και περισσότερο το μέγεθος τους. Τελικά, πέφτουν απ' τον ουρανό ως **κατακρημνίσματα**, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι και το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεγαλύτερη ποσότητα των κατακρημνισμάτων του νερού πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, κατά τους ανοιξιάτικους μήνες, το χιόνι λιώνει και το νερό που σχηματίζεται ρέει, αποτελώντας την απορροή από το λιώσιμο του χιονιού.

Από την ποσότητα των απορροών που κυκλοφορούν στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως **επιφανειακή απορροή**. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Οι επιφανειακές απορροές μπορεί να καταλήξουν και σε λίμνες, οι οποίες μαζί με τα ποτάμια αποτελούν τις σημαντικότερες «αποθήκες» του γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς και στις λίμνες. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της **διήθησης** και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως **εκφόρτιση υπόγειου νερού**. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή **πηγών**. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους **υπόγειους υδροφορείς**, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναπαίρνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" ... και "ξεκινάει" [23].

## 1.6. Παγκόσμια Κατανομή του Νερού

Από τις τεράστιες ποσότητες νερού που υπάρχουν στον πλανήτη μας, το 97.9 % βρίσκεται σε υγρή κατάσταση εκ του οποίου το 97 % είναι αλμυρό νερό, δύσκολα εκμεταλλεύσιμο με τα σημερινά τεχνολογικά μέσα. Το ποσοστό του νερού χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα έχει εκτιμηθεί ότι είναι μόλις 3 % του συνολικού. Από τα υδατοαποθέματα νερού χαμηλής αλατότητας μόλις το 10 % περίπου είναι διαθέσιμο για άμεση εκμετάλλευση για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών. Η ποσότητα του επιφανειακού γλυκού νερού που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες ανέρχεται περίπου σε 93100 κυβικά χιλιόμετρα [13,23,31].



Σχήμα 1.2. Η Παγκόσμια Κατανομή του Νερού [23]

Ο πίνακας 1.1 παρουσιάζει μια λεπτομερή περιγραφή της κατανομής του νερού σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

**Πίνακας 1.1. Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού [23]**

Μορφή Νερού	Όγκος Νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1,338,000,000	-	96.5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24,064,000	68.7	1.74
Υπόγειο Νερό	23,400,000	-	1.7
Γλυκό	10,530,000	30.1	0.76
Αλμυρό	12,870,000	-	0.94
Εδαφική Υγρασία	16500	0.05	0.001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300000	0.86	0.022
Λίμνες	176400	-	0.013
Γλυκές	91000	0.26	0.007
Αλμυρές	85400	-	0.006
Ατμόσφαιρα	12900	0.04	0.001
Έλη	11470	0.03	0.0008
Ποταμοί	2120	0.006	0.0002
Βιολογικό Νερό	1120	0.003	0.0001
<b>Σύνολο</b>	<b>1,386,000,000</b>	<b>-</b>	<b>100</b>

### 1.7. Δομή - Ιδιότητες – Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του νερού

Η μοριακή δομή του νερού, αν και απλή, οδηγεί σε μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες, οι οποίες έχουν πρακτικό ενδιαφέρον για την ποιότητα, την επεξεργασία και τη διάθεση του. Επίσης εξηγεί την ικανότητα του νερού να διαλύει μεγάλο αριθμό ενώσεων, την αποτελεσματικότητα του ως υγρό εναλλαγής θερμότητας, την υψηλή του πυκνότητα και την απαιτούμενη ενέργεια άντλησης, καθώς και την αντίστροφη επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες του [13].

Το νερό διαλύει ή μεταφέρει ως αιωρούμενα στερεά διάφορα συστατικά, τα οποία του προσδίδουν συγκεκριμένα χημικά, βιολογικά και αισθητικά χαρακτηριστικά. Ο τύπος, το μέγεθος και η αλληλεπίδραση των υλικών αυτών προσδιορίζουν διάφορα χαρακτηριστικά του νερού, όπως είναι η ποσιμότητα, η διαβρωτικότητα, καθώς επίσης η οσμή και η γεύση του. Η επεξεργασία του νερού επιδρά στις ιδιότητες αυτές περιορίζοντας τα ανεπιθύμητα συστατικά του μέσα στα επιθυμητά όρια των ποιοτικών απαιτήσεων για τη χρήση του.

Σύνθεση – Διαστάσεις - Πολικότητα : Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και από ένα άτομο οξυγόνου. Επομένως ο χημικός του τύπος είναι  $H_2O$  και το μοριακό του βάρος 18.

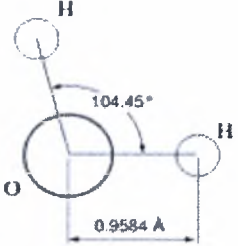
Το μόριο του νερού δεν είναι γραμμικό, δηλαδή οι δεσμοί  $O - H$  δε βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία, αλλά σχηματίζουν γωνία 104.5 μοιρών. Επομένως το μόριο του νερού σχηματίζει ισοσκελές τρίγωνο με το οξυγόνο στην κορυφή. Το μήκος του δεσμού  $O - H$  είναι 0.96 Å ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ ). Λόγω της γωνιακής διάταξης του δεσμού  $O - H$ , το μόριο του νερού είναι ασύμμετρο και έχει υψηλή διπολική ροπή.

Το κέντρο του θετικού φορτίου βρίσκεται προς την πλευρά του υδρογόνου και του αρνητικού προς την πλευρά του οξυγόνου. Ο υψηλός πολικός χαρακτήρας του μορίου, συν τοις άλλοις ευθύνεται και για την διάλυση ετεροπολικών ενώσεων στο νερό, ιδιότητα που το καθιστά ένα από τα καλύτερα διαλυτικά μέσα. Το νερό παρουσιάζει έντονα το φαινόμενο της σύζευξης, με την δημιουργία δεσμών υδρογόνου. Τα μόρια δηλαδή του νερού σχηματίζουν δεσμούς μεταξύ του ηλεκτροθετικού υδρογόνου του ενός μορίου και του ηλεκτραρνητικού οξυγόνου του άλλου μορίου και η ενέργεια των δεσμών κυμαίνεται από 5.4 έως 18.8 kJ/mol.

Ο δεσμός υδρογόνου είναι υπεύθυνος για τις μοναδικές ιδιότητες του νερού. Συσχετιζόμενο με άλλες ενώσεις με παρόμοιο μοριακό βάρος, το νερό εμφανίζει υψηλότερο σημείο τήξης και βρασμού, με αποτέλεσμα να είναι υγρό και όχι αέριο σε συνθήκες περιβάλλοντος. Επίσης, ο δεσμός υδρογόνου εξηγεί τη μεγάλη του ειδική θερμότητα, πυκνότητα, ιξώδες και επιφανειακή τάση [13,8].

Στον πίνακα 1.2, παρουσιάζονται οι κύριες ιδιότητες του νερού.

**Πίνακας 1.2. Κύριες Ιδιότητες του Νερού [13,8,33]**

Χημικός Τύπος	H <sub>2</sub> O	
Μοριακή Γεωμετρία		
Ατομικό Βάρος	180	
Σημείο Τήξεως	0°C	
Σημείο Ζέσεως	100°C	
Τάση Ατμών	Θερμοκρασία °C	Τάση Ατμών mm Hg
	0	4.58
	10	9.21
	20	17.54
	30	31.82
	40	55.32
	50	92.51
	60	149.38
	70	233.70
	80	355.10
	90	525.80
100	760.00	
Πυκνότητα	Θερμοκρασία °C	Πυκνότητα kg/m <sup>3</sup>
	0 (πάγος)	916.7
	0 (νερό)	999.8
	3.98	1000
	20	998.2
	40	992.3
	60	983.3
	80	972
	100	958.6
Ειδική Θερμότητα	Πάγος 2.108 kJ/kg K	
	Νερό 4.187 kJ/kg K (μέση τιμή)	
	Ατμός 1.996 kJ/kg K	
Ειδική Θερμότητα Τήξης	6.0095 kJ/mol	
Ειδική Θερμότητα Εξάτμισης	40.657 kJ/mol (100°C)	
Ιξώδες	Θερμοκρασία °C	Ιξώδες Pa s
	0	1.75×10 <sup>-3</sup>
	20	1.02×10 <sup>-3</sup>
	30	8×10 <sup>-4</sup>
	40	6.51×10 <sup>-4</sup>
	60	4.60×10 <sup>-4</sup>
	80	3.50×10 <sup>-4</sup>
100	2.82×10 <sup>-4</sup>	
Ενέργεια Σχηματισμού	-286.03 kJ/mol (25°C, 1 atm)	
Επιφανειακή Τάση	72.75 × 10 <sup>-3</sup> N/m (20°C) 66.18 × 10 <sup>-3</sup> N/m (60°C) 58.85 × 10 <sup>-3</sup> N/m (100°C)	
Διπολική Ροπή	1.84 debye	
Διηλεκτρική Σταθερά (υγρό)	Θερμοκρασία °C	Διηλεκτρική Σταθερά
	0	88
	25	78.5
	100	55.44
Δείκτης Διάθλασης	1.333 (20°C)	
Κρίσιμη Θερμοκρασία	647 K	
Κρίσιμη Πίεση	22.1 MPa	
Εμφάνιση	Διαυγές, σχεδόν άχρωμο υγρό σε λεπτά στρώματα, κυανίζον σε μεγάλους όγκους	

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι το φυσικό νερό (πηγών, ποταμών κ.λ.π.) δεν είναι καθαρή χημική ένωση. Περιέχει σχεδόν πάντοτε διαλυμένα ανόργανα άλατα, αέρια και άλλες ουσίες, πολλές φορές και οργανικές. Τα κυριότερα συστατικά που αποτελούν και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, είναι τα εξής:

*1) Ανόργανα συστατικά (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> κτλ.)*

Προέρχονται από τη διαλυτοποίηση των πετρωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό, την αποσάθρωση πετρωμάτων και έκπλυση εδαφών. Μεγέθη εκτίμησης των ανόργανων συστατικών είναι η **σκληρότητα** (hardness - περιεκτικότητα ασβεστίου και μαγνησίου και η συχνότερη αιτία για τη δημιουργία αποθέσεων) και το **σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS, Total Dissolved Solids)**, που εκφράζουν τη μάζα όλων των διαλυμένων στερεών. Υπολογίζεται από την ζύγιση του στερεού υπολείμματος ύστερα από την εξάτμιση δείγματος νερού.

*2) Αιωρούμενα στερεά*

Στερεά με μέγεθος μεγαλύτερο των μορίων. Προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και βιολογικές διεργασίες. Παράμετροι που εκφράζουν τα αιωρούμενα στερεά είναι η **θολότητα** (turbidity - η οπτική ιδιότητα του νερού με αιωρούμενα να προκαλεί διάχυση του φωτός και απορρόφηση και μετρείται με νεφελόμετρα), η **μέτρηση της μάζας των αιωρούμενων στερεών** (ύστερα από διήθηση σε φίλτρο 0.45 μm) και η **κατανομή μεγέθους των σωματιδίων**.

*3) Οργανικά συστατικά.*

Προέρχονται από τη φυσική αποικοδόμηση υλικών φυτικής και ζωικής προέλευσης (προσθέτουν συνήθως χρώμα στο νερό) και από συνθετικά οργανικά που προέρχονται από γεωργικές βιομηχανικές και άλλες δραστηριότητες. Περιλαμβάνει και τους μικροβιολογικούς ρυπαντές. Η παρουσία των οργανικών συστατικών αποτιμάται με τη μέτρηση του **Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)**, της **Βιοχημικής Απαίτησης σε Οξυγόνο (BOD)** και της **Χημικής Απαίτησης σε Οξυγόνο (COD)**.



**4) Ραδιοϊσότοπα.**

Εισάγονται στο νερό είτε από πυρηνικά, ιατρικά και βιομηχανικά απόβλητα, είτε σπανιότερα, από ραδιοϊσότοπα που υπάρχουν στη φύση.

**5) Αισθητικά χαρακτηριστικά.**

Σχετίζονται με το χρώμα, την οσμή και τη γεύση του νερού από την παρουσία ορισμένων συστατικών (σίδηρος, μαγγάνιο, κ.ά.)

Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται τα χημικά χαρακτηριστικά νερών διαφορετικής προέλευσης.

Πίνακας 1.3. Χημικά χαρακτηριστικά νερών [1]

Χαρακτηριστικό	Χιόνι (Νεβάδα, 2500 m)	Βροχή (Βέλγιο)	Πόσιμο νερό (Θεσ/νίκη)	Θάλασσα (Αιγαίο)	Γεωθερμικό νερό (Νιγγίτα, 60°C)
pH	5.6	4.4*	7.4	8.2	6.8
TDS (mg/l)	4.8	19.6	390	38000	2500
Na <sup>+</sup>	0.6	1.0	34	12000	529
K <sup>+</sup>	0.6	0.2	2.0	580	89
Ca <sup>2+</sup>	0.0	3.3	81	400	160
Mg <sup>2+</sup>	0.2	0.4	21	1480	105
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.0	0.4	0.0	0.005	0.3
Cl <sup>-</sup>	0.6	2.0	48	21900	162
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.6	0.0	342	165	2220
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.0	6.1	20	3030	130
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.2	2.2	4.5	0.5	1.6
As	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
B	0.0	0.0	0.0	5.0	4.6
SiO <sub>2</sub>	0.0	0.0	32	2.0	83

\* όξινη βροχή (pH<5)

## 1.8. Χρήσεις του νερού

Οι χρήσεις του φυσικού νερού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ανανεώσιμες και μη. Κάποια δεδομένη χρήση του νερού χαρακτηρίζεται ως μη ανανεώσιμη εάν το νερό αυτό δεν είναι άμεσα διαθέσιμο για άλλη χρήση. Τα λύματα για παράδειγμα, που μπορούν να επεξεργαστούν και να επιστρέψουν σαν επιφανειακά νερά, θεωρούνται σε γενικές γραμμές ως ανανεώσιμα εάν μπορούν να διοχετευθούν σε επιπρόσθετες χρήσεις. Οι κύριες χρήσεις του φυσικού νερού αποσκοπούν στην κάλυψη των **οικιακών, αγροτικών και βιομηχανικών** αναγκών[33].

Οικιακή χρήση : Εκτιμάται ότι περίπου το 8 % της παγκόσμιας κατανάλωσης σε νερό αφορά τις οικιακές χρήσεις του (Πιν. 1.4). Οι τελευταίες περιλαμβάνουν το πόσιμο νερό, το νερό που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών υγιεινής και το νερό για το μαγείρεμα και την κηπευτική. Οι βασικές οικιακές καταναλώσεις σε νερό έχουν εκτιμηθεί ότι ανέρχονται σε 50 λίτρα ανά άτομο και ημέρα, μη συμπεριλαμβανομένου του νερού που χρησιμοποιείται για την άρδευση των κήπων. Τα οικιακά λύματα στην πλειοψηφία τους επεξεργάζονται και επιστρέφουν σε επιφανειακά συστήματα νερού, με εξαίρεση τα νερά που χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση εξωτερικών χώρων. Είναι λοιπόν εμφανές ότι τα οικιακά λύματα είναι περισσότερο ανανεώσιμα σε σχέση με τα γεωργικά και τα βιομηχανικά.

Γεωργική χρήση : Περίπου το 70 % της παγκόσμιας κατανάλωσης σε νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Σε ορισμένες περιοχές του κόσμου, η άρδευση είναι αναγκαία για την ανάπτυξη οποιασδήποτε συγκομιδής, σε άλλες πάλι επιτρέπει την ανάπτυξη πιο κερδοφόρων συγκομιδών ή δρα ενισχυτικά στην απόδοση της σοδειάς. Διάφορες μέθοδοι άρδευσης περιλαμβάνουν διαφορετικές ανταλλαγές μεταξύ της σοδειάς, της κατανάλωσης του νερού και του αρχικού κόστους του εξοπλισμού και των κατασκευών. Η λαθεμένη πάντως διαχείριση οποιασδήποτε μεθόδου άρδευσης μπορεί να αποβεί σπάταλη από πλευράς νερού. Οι **υδατοκαλλιέργειες** είναι μια μικρή αλλά αναπτυσσόμενη περίπτωση χρήσης του νερού για γεωργικούς σκοπούς. Με την αύξηση του παγκοσμίου πληθυσμού και

καθώς οι ανάγκες για σίτιση αυξάνουν, σε έναν κόσμο με σταθερή ποσότητα νερού, καταβάλλονται προσπάθειες για την ανάπτυξη νέων μεθόδων παραγωγής τροφίμων με τη χρήση λιγότερου νερού, μέσω βελτίωσης των υφιστάμενων μεθόδων και τεχνολογιών άρδευσης και της διαχείρισης και παρακολούθησης με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων του αγροτικού νερού[33].

Βιομηχανική χρήση : Η βιομηχανική χρήση του νερού ανέρχεται στο 23 % της παγκόσμιας κατανάλωσης του. Στους κύριους βιομηχανικούς καταναλωτές του νερού συγκαταλέγονται οι μονάδες παραγωγής ισχύος, οι οποίες χρησιμοποιούν το νερό για ψύξη ή για παραγωγή ενέργειας (π.χ. υδροηλεκτρικά εργοστάσια), τα ορυχεία και τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα οποία χρησιμοποιούν το νερό για χημικές διεργασίες και διάφορες άλλες βιομηχανίες που χρησιμοποιούν το νερό σαν διαλύτη. Η χρήση του νερού πάντως στην βιομηχανία για ψυκτικούς σκοπούς είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Το μερίδιο του βιομηχανικού νερού που δεν είναι ανανεώσιμο ποικίλει ευρέως, αλλά στο σύνολο του είναι σαφώς χαμηλότερο από το νερό γεωργικής χρήσης[33]. Εκτός από το στόχο της παραγωγής των αγαθών σε συγκεκριμένο (και χαμηλό) κόστος, η βιομηχανία θα πρέπει παράλληλα να έχει και τους εξής αντικειμενικούς στόχους[1]:

- Να καταναλώνει το ελάχιστο των φυσικών πόρων.
- Να ελαχιστοποιεί τα απόβλητα μέσω της βέλτιστης και αποδοτικής χρήσης των πόρων.
- Να προωθεί την ανάκτηση χρήσιμων υλικών και νερού από τα απόβλητα της παραγωγής.
- Να κάνει την κατάλληλη επεξεργασία των τελικών αποβλήτων και να τα μετατρέψει σε τέτοια μορφή που θα είναι περιβαλλοντικά αποδεκτά για διάθεση.

Πιο συγκεκριμένα τα συστήματα του νερού ψύξης (cooling water systems) τροποποιούνται σε πολλές βιομηχανικές τους εφαρμογές με σκοπό την μείωση του ποσού του φυσικού νερού που χρησιμοποιείται σαν νερό συμπλήρωσης (make up water). Η λειτουργία των ψυκτικών πύργων σε μεγάλους κύκλους συμπύκνωσης (cycles of concentration) σε συστήματα ανακυκλοφορίας και η επαναχρησιμοποίηση των νερών (συμπεριλαμβανομένων και των αστικών λυμάτων) μπορούν να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην μείωση της κατανάλωσης του φυσικού νερού για βιομηχανική χρήση. Περιβαλλοντικοί κανονισμοί επιπλέον θέτουν ποιοτικά κριτήρια τόσο για τα αστικά όσο και για τα βιομηχανικά λύματα. Η χώρα μας καλείται να εναρμονισθεί με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες και προδιαγραφές γεγονός που σημαίνει την υιοθέτηση πιο αυστηρών μέτρων στον τομέα αυτό τα προσεχή χρόνια[3,1].

**Πίνακας 1.4. Χρήση νερού σε διάφορες χώρες [1]**

	Οικιακή	Βιομηχανική	Αγροτική
<b>Παγκόσμια</b>	8 %	23 %	69 %
<b>Ε.Ε.</b>	14 %	56 %	30 %
<b>Η.Π.Α.</b>	12 %	42 %	46 %
<b>Ελλάδα</b>	12 %	6 %	80 %

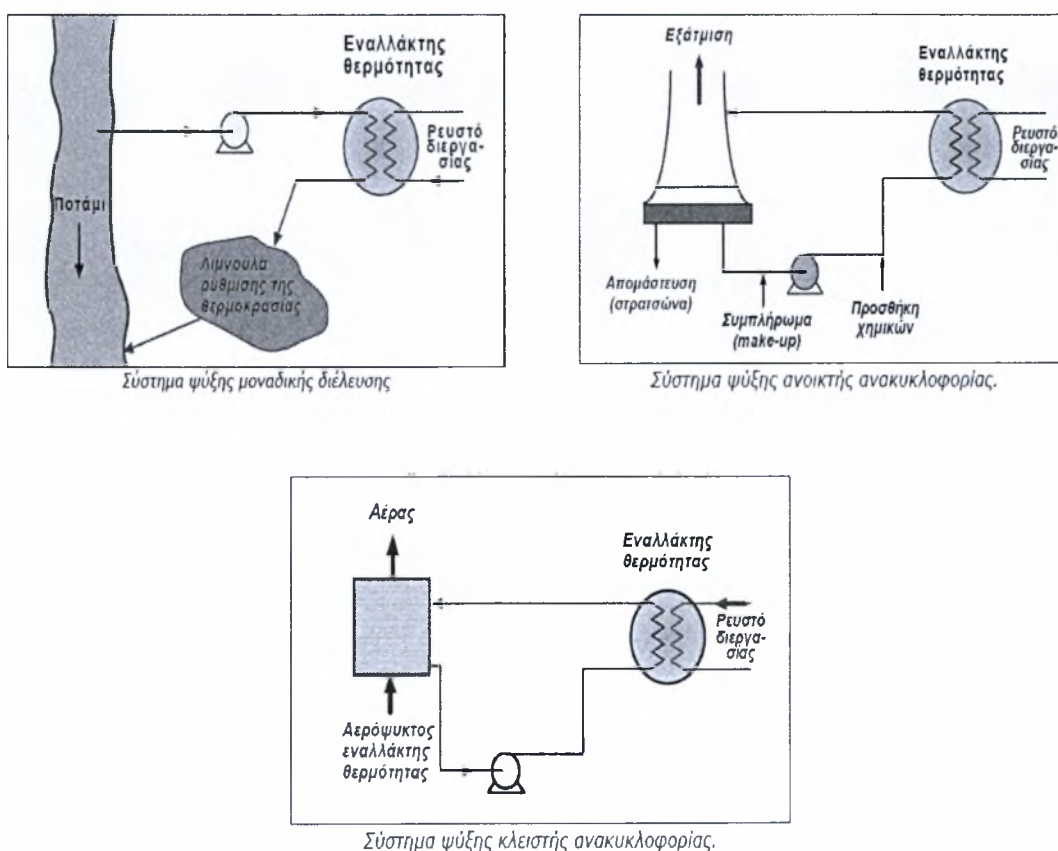
## 2. Ψυκτικά Κυκλώματα Νερού

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ταξινόμηση των κυκλωμάτων του νερού ψύξης σε διάφορους τύπους (απλής διαδρομής, ανοικτά, κλειστά) και η παράθεση κάποιων γενικών αρχών λειτουργίας του κάθε τύπου. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα ανοικτά κυκλώματα και στους πύργους ψύξης που αυτά χρησιμοποιούν.

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι περισσότερες παραγωγικές διεργασίες στην βιομηχανία χρειάζονται νερό ψύξης για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Δυλιστήρια, χαλυβουργεία, πετροχημικές βιομηχανίες και εργοστάσια παραγωγής χαρτοπολτού είναι μερικές από τις περιπτώσεις που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από εξοπλισμό ή διεργασίες που απαιτούν ικανοποιητικό έλεγχο της θερμοκρασίας. Τα συστήματα νερού ψύξης ελέγχουν αυτές τις θερμοκρασίες, μεταφέροντας τη θερμότητα των θερμών ρευστών της διεργασίας στο ψυκτικό νερό. Κατά την διάρκεια της μεταφοράς θερμότητας, το ψυκτικό νερό θερμαίνεται. Πολλές από τις ιδιότητες του νερού καθώς και οι συμπεριφορές των προσμίξεων που περιέχει, επηρεάζονται από αυτή την μεταβολή της θερμοκρασίας. Η τάση ενός συστήματος να διαβρώνεται, να δημιουργεί αποθέσεις ή/ και να ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού που το διατρέχει. Πριν χρησιμοποιηθεί ξανά το νερό, θα πρέπει είτε να ψυχθεί, είτε να αντικατασταθεί από μια καινούργια ποσότητα φυσικού νερού. Το καινούργιο νερό συμπλήρωσης περιέχει διάφορες προσμίξεις που αναφέρθηκαν στην § 1.5.

## 2.1. Τύποι Συστημάτων νερού ψύξης

Τα συστήματα νερού ψύξης χωρίζονται σε τρεις βασικούς τύπους : **απλής διαδρομής** (*once-through systems*), **κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας** (*closed recirculating systems*) και **ανοικτό κύκλωμα ανακυκλοφορίας** (*open recirculating systems*). Η σχηματική παράσταση των τριών αυτών τύπων παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1. Τα πραγματικά κλειστά κυκλώματα ούτε χάνουν ούτε δέχονται επιπλέον νερό κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Απεναντίας, στα ανοικτά συστήματα, θα πρέπει να προστίθεται (συνεχώς ή σε «παρτίδες») για να αναπληρώσει τις απώλειες σε νερό και όχι μόνο. Το ανοικτό σύστημα ανακυκλοφορίας που χρησιμοποιεί πύργο ψύξης και ανοικτές δεξαμενές διαθέτει σημαντικές ποσότητες θερμότητας στο περιβάλλον, αλλά και εξοικονομεί νερό. Τυπικό παράδειγμα ανοικτού συστήματος αποτελούν οι «υπερβολικοί» πύργοι ψύξης των ατμοηλεκτρικών μονάδων (Σχ. 2.2).



Σχήμα 2.1. Συστήματα ψύξης νερού [1]



Σχήμα 2.2. “Υπερβολικοί” πύργοι ψύξης στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου Κοζάνης [18]

Τα συστήματα απλής διαδρομής παίρνουν νερό από ένα υδάτινο ταμιευτήρα (λίμνη, θάλασσα, ποτάμι) όταν αυτό είναι διαθέσιμο και το επιστρέφουν σε αυτόν σε μεγαλύτερη θερμοκρασία. Χρησιμοποιούν μεγάλους όγκους νερού και το κυριότερο κόστος είναι το κόστος της άντλησης και της τυχόν επεξεργασίας. Προβλήματα που απαντώνται σε αυτά τα συστήματα είναι η διάβρωση (*corrosion*), οι βιολογικές επικαθίσεις (*biological deposits or fouling*) και οι επικαθίσεις λόγω κρυστάλλωσης (*scaling or precipitation fouling*).

Και τα τρία συστήματα μπορεί να αντιμετωπίζουν λειτουργικά προβλήματα που σχετίζονται με την «ποιότητα» του νερού που εισέρχεται στο σύστημα. Στα κλειστά συστήματα οι απώλειες νερού είναι μικρές και επομένως, ανεπιθύμητα συστατικά συσσωρεύονται στο σύστημα με πολύ μικρότερο βαθμό σε σχέση με τα ανοικτά συστήματα.

Στα ανοικτά συστήματα και στα συστήματα μοναδικής διαδρομής παρατηρούνται συχνά μεγάλες ποσότητες διαλυμένων ουσιών, αιωρούμενων σωματιδίων και βιολογικών υλικών. Συνεπώς, σε αυτά τα συστήματα τα φαινόμενα του σχηματισμού επικαθίσεων και της διάβρωσης είναι περισσότερο έντονα.

Τα συστήματα νερού ψύξης ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ τους και η επιλογή ενός συστήματος εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, από την ύπαρξη κατάλληλου νερού και από τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές. Όσον αφορά τα υλικά κατασκευής των συστημάτων ψύξης, ουσιαστικά όλα τα υπάρχοντα κράματα έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τμημάτων των συστημάτων αυτών.

Στα κλειστά συστήματα ανακυκλοφορίας η αύξηση της θερμοκρασίας (περιοχή θερμοκρασίας – temperature range) του νερού που επιστρέφει, μετά τη διέλευση του από την μονάδα, κυμαίνεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, από 6 μέχρι 10°C, ενώ η ταχύτητα του νερού βρίσκεται στην περιοχή 0.8 – 1.5 m/s. Ένα ανοικτό σύστημα ανακυκλοφορίας περιλαμβάνει ένα πύργο ψύξης ή/ και μια «λιμνούλα» εξάτμισης για την απομάκρυνση της θερμότητας. Οι πύργοι ψύξης κατατάσσονται ανάλογα με τη μέθοδο μεταφοράς του αέριου ρεύματος (φυσική ή εξαναγκασμένη ροή) και με τη διεύθυνση της ροής του αέρα (αντιρροή ή εγκάρσια ροή σε σχέση με το νερό που πέφτει προς τα κάτω)[1].

## **2.2. Οι πύργοι ψύξης στα ανοικτά συστήματα ανακυκλοφορίας**

Μέχρι πριν από 30 χρόνια οι πύργοι ψύξης αποτελούσαν την εξαίρεση και όχι τον κανόνα στην βιομηχανία, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους λειτουργίας τους και του υψηλού κόστους εγκατάστασης τους. Οι σημερινές ανάγκες ωστόσο για σωστή διαχείριση του φυσικού νερού και για ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση του, καθιστούν την λύση της ανακυκλοφορίας του νερού ολοένα και πιο ελκυστική για την σημερινή βιομηχανία.



### 2.2.1. Αρχή Λειτουργίας του πύργου ψύξης

Ο πύργος ψύξης κατ' ουσία είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας : μεταφέρει θερμότητα από το ανακυκλοφορούμενο νερό στην ατμόσφαιρα. Αυτό επιτυγχάνεται με ανάμιξη νερού και αέρα και με την εξάτμιση περίπου 1 % του νερού ανά 6 °C ( $\approx 10$  °F) μείωση της θερμοκρασίας του. Εκτός από την εξάτμιση, ψύξη επιτυγχάνεται και με μεταφορά αισθητής θερμότητας από το νερό προς τον αέρα. Η θερμότητα που απάγεται κατ' αυτόν τον τρόπο εξαρτάται από την άνοδο της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα που εγκαταλείπει τον πύργο[1,19].

Αρχικά, καθώς το θερμό νερό εισέρχεται στον πύργο έρχεται σ' επαφή με τον ψυχρό αέρα, ανεβάζοντας του την θερμοκρασία, κυρίως με αγωγή. Όταν όμως η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται, μειώνεται η σχετική υγρασία του. Επομένως, ανεξάρτητα από τον βαθμό κορεσμού που είχε ο αέρας αρχικά, ο τελευταίος γίνεται ακόρεστος και απορροφά ποσότητες νερού, εξατμίζοντας το. Καθώς το νερό εξατμίζεται, απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το υπόλοιπο νερό και μειώνει την θερμοκρασία του.

Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το 65 - 70 % της αποβαλλόμενης θερμότητας, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται με αγωγή, επαφή και ακτινοβολία. Επειδή ο αέρας που βγαίνει είναι περίπου κορεσμένος και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την στιγμή που εξέρχεται από τον πύργο ψύξης ψύχεται και αποβάλλει μέρος από την θερμοκρασία που έχει απορροφήσει. Γι' αυτό ακριβώς τον λόγο εμφανίζεται ένα σύννεφο υδρατμών πάνω από τους πύργους ψύξης κατά το διάστημα της λειτουργίας τους[17,18,26].

### 2.2.2. Ισοζύγια νερού στον πύργο ψύξης

Στα ανοικτά συστήματα ψύξης, τμήμα του νερού εξατμίζεται συνεχώς, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (*TDS*) στη μάζα του νερού που ανακυκλοφορεί. Ο έλεγχος της συγκέντρωσης των *TDS* επιτυγχάνεται με τη συνεχή αφαίρεση τμήματος του ψυκτικού νερού (απομάστευση ή στρατσώνα – Blowdown), το οποίο αναπληρώνεται με «καθαρό» νερό συμπλήρωσης (Make-Up water). Ο ρυθμός απομάκρυνσης, *BD* (m<sup>3</sup>/h) προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$BD = \frac{Ev}{C-1} \quad (2-1)$$

Όπου :

*Ev* : ρυθμός εξάτμισης (m<sup>3</sup>/h)

*C* : κύκλος συμπύκνωσης, δηλαδή ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές η αρχική συγκέντρωση αυξάνει με την εξάτμιση του νερού.

Η εξάτμιση του νερού μπορεί να εκτιμηθεί πολλαπλασιάζοντας την παροχή του νερού με την περιοχή ψύξης, δηλαδή τη μείωση της θερμοκρασίας του νερού καθώς αυτό περνάει μέσα από το ψυκτικό κύκλο. Με την επεξεργασία του νερού ψύξης επιδιώκεται η πρόληψη και ο έλεγχος του σχηματισμού επικαθίσεων [1]. Με βάση την παραδοχή ότι για να πετύχει ο πύργος ψύξης μείωση της θερμοκρασίας του νερού κατά 10°F (= 5.5 °C) θα πρέπει να εξατμιστεί το 1% του νερού, οι απώλειες λόγω εξάτμισης είναι δυνατό να υπολογιστούν, από τον παρακάτω τύπο :

$$Ev = \frac{\Delta T}{5.5} \cdot \frac{RR}{100} \cdot f \quad (2-2)$$

Όπου :

$\Delta T$  : μείωση της θερμοκρασίας του νερού κατά την διέλευση του από τον ψυκτικό πύργο ( $^{\circ}\text{C}$ )

$RR$  : ρυθμός ανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα ψύξης ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$f$  : Διορθωτικός συντελεστής. Εφόσον το σύνολο της θερμότητας του νερού δεν απάγεται αποκλειστικά μέσω εξάτμισης αλλά και με άλλες μορφές, η χρήση του διορθωτικού συντελεστή εκφράζει το ποσοστό της θερμότητας που απομακρύνεται από εξάτμιση, ως το συνολικό ποσό θερμότητας και ποικίλει ανάλογα με το σύστημα και τις κλιματολογικές συνθήκες. Για την περίπτωση της Ελλάδας, μια πάρα πολύ καλή προσέγγιση είναι :

$f = 0.65$  τον χειμώνα, όταν ο αέρας είναι πιο ψυχρός και υγρός. Επομένως έχει μεγαλύτερη τάση να απομακρύνει θερμότητα με αγωγή παρά με εξάτμιση. Αντίστοιχα  $f = 0.9$  το καλοκαίρι, όταν ο αέρας είναι πιο θερμός και ξηρός με μεγαλύτερη τάση να απομακρύνει θερμότητα με εξάτμιση, παρά με αγωγή [15,18].

Επομένως το νερό συμπλήρωσης  $MU$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) που εισέρχεται στον πύργο ψύξης θα πρέπει να ισούται με τις συνολικές απώλειες :

$$MU = BD + Ev \quad (2-3)$$

Το νερό συμπλήρωσης (συνήθως νερό από ποτάμι, λίμνη ή το δίκτυο ύδρευσης) περιέχει μικρές ή μεγαλύτερες ποσότητες διαλυμένων ουσιών. Η εξάτμιση μέρους του νερού αφήνει τα διαλυμένα στερεά στο νερό σε αυξημένη κάθε φορά συγκέντρωση. Ο λόγος συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών,  $C$ , στο νερό ψύξης ορίζεται συνήθως ως ο λόγος της συγκέντρωσης των TDS ως προς την αντίστοιχη συγκέντρωση του νερού συμπλήρωσης. Στην πράξη αυτό μπορεί να γίνεται με τη μέτρηση της αγωγιμότητας του νερού. Ορισμένες φορές είναι περισσότερο σημαντικό να ελέγχεται ένα συγκεκριμένο συστατικό που προκαλεί προβλήματα. Σε σκληρά νερά επομένως μπορεί να μετριέται συστηματικά η συγκέντρωση του ασβεστίου και

αυτή να καθορίζει τον λόγο  $C$ , ή η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου για τον έλεγχο της διάβρωσης των μεταλλικών μερών του συστήματος [10,1].

$$C = \frac{CI_{BD}^-}{CI_{MU}^-} \quad (2-4)$$

Εκτός από τις απώλειες λόγω εξάτμισης και τις απομαστεύσεις, σε ένα κύκλωμα νερού ψύξης υπάρχουν και απώλειες λόγω συμπαρασυρμού (Drift Losses,  $DL$ ) καθώς και μηχανικές απώλειες (Mechanical Losses,  $ML$ ). Οι δύο τελευταίοι τύποι απωλειών εκφράζονται συνήθως ως ποσοστά του ρυθμού ανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα ψύξης,  $RR$ . Δύο συνήθεις προσεγγίσεις είναι οι παρακάτω[16] :

$$DL = \alpha \cdot RR \quad (2-5)$$

Όπου :

$\alpha = 0.3$  έως  $1\%$  για πύργους ψύξης φυσικής ροής,

$\alpha = 0.1$  έως  $0.3\%$  για πύργους ψύξης εξαναγκασμένης ροής χωρίς συστήματα εξάλειψης των απωλειών λόγω συμπαρασυρμού

$\alpha = 0.05\%$  για πύργους ψύξης εξαναγκασμένης ροής με συστήματα εξάλειψης των απωλειών λόγω συμπαρασυρμού

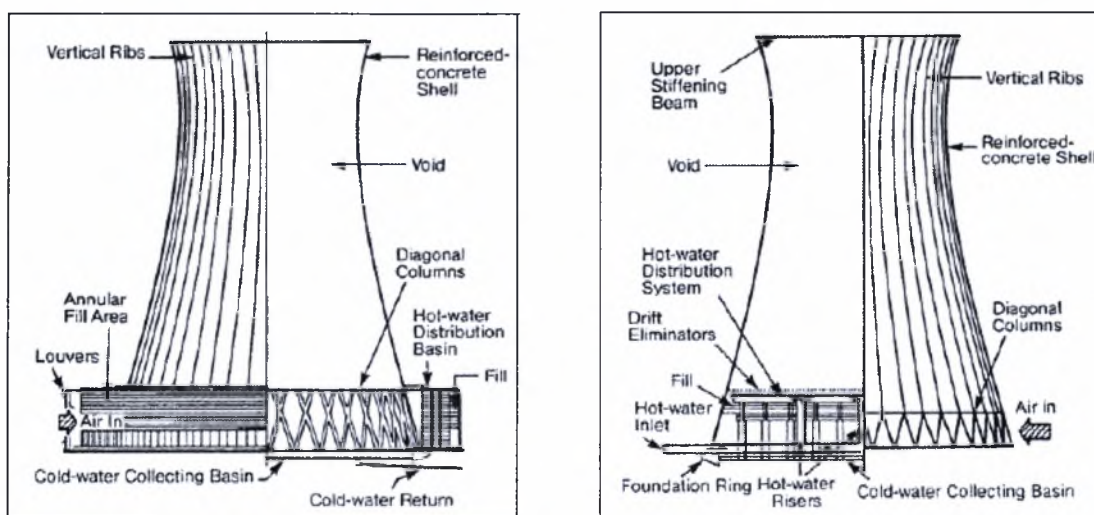
$$ML = 0.05\% \cdot RR \quad (2-6)$$

Είναι εμφανές ότι όσο μεγαλύτερος θα είναι ο ρυθμός ανακυκλοφορίας του νερού στο σύστημα ψύξης, τόσο οι απώλειες αυτές θα μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες, χωρίς τον υπολογισμό σημαντικού σφάλματος.

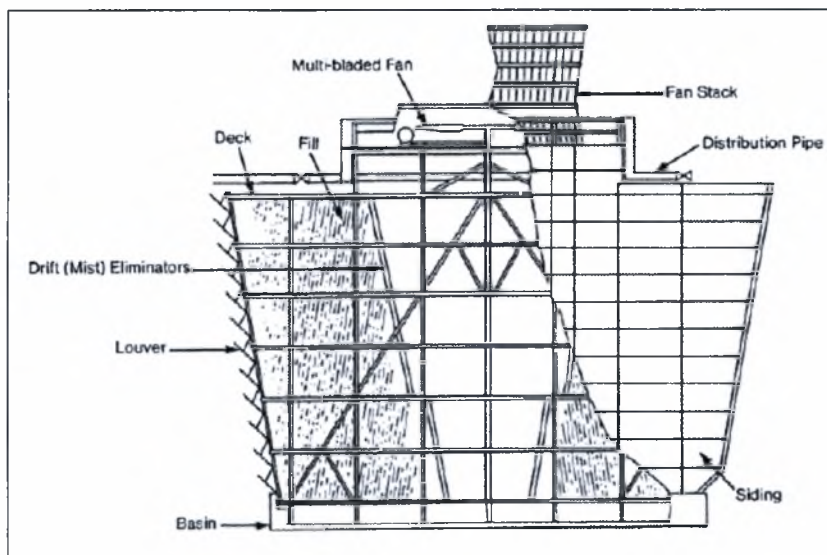
### 2.2.3. Ταξινόμηση των πύργων ψύξης

Οι πύργοι ψύξης ταξινομούνται κυρίως με τη μορφή της ροής του αέρα: με φυσική (natural draft) ή με εξαναγκασμένη ροή (mechanical draft). Οι πύργοι φυσικής ροής (ή υπερβολικοί πύργοι) αξιοποιούν τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού αέρα και του θερμότερου αέρα μέσα στον πύργο. Ο σχεδιασμός τους είναι τέτοιος ώστε η έξοδος του θερμού αέρα από την κορυφή να αναγκάζει τον ατμοσφαιρικό αέρα να εισέρχεται από τον πυθμένα.

Οι υπερβολικοί πύργοι διαχωρίζονται σε δύο τύπους: σε αντιροής (counterflow) και σε διασταυρωμένης ροής (crossflow), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3. Το ύψος τους μπορεί να φτάσει και τα 150 m. Στους πύργους εξαναγκασμένης ροής το νερό αφήνεται να πέσει από την οροφή του πύργου προς τη βάση μέσα από τον αέρα, ενώ χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες τοποθετημένοι στην οροφή για να ενισχύσουν την ροή του προς τα πάνω (Σχ. 2.4). Ο πύργος ψύξης είναι γεμάτος με πληρωτικό υλικό (συνήθως από ξύλο ή πλαστικό) για τη ισοκατανομή τα νερού που πέφτει και για αύξηση της επιφάνειας επαφής [1,17].



Σχήμα 2.3. Πύργοι ψύξης με φυσική ροή αέρα. Δεξιά αντίθετη ροή (counterflow) και αριστερά, διασταυρωμένης ροής (crossflow) [6,19].



Σχήμα 2.4. Πύργοι ψύξης με εξαναγκασμένη ροή αέρα [6,19].

### 3. Εμφάνιση Προβλημάτων στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης – Αναγνώριση - Αντιμετώπιση

Στο κεφάλαιο αυτό παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τις συνηθέστερες μορφές προβλημάτων που απαντώνται στα κυκλώματα νερού ψύξης. Παράλληλα αναφέρονται και κάποιες βασικές μέθοδοι αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών με βάση την βιομηχανική πρακτική όπως αυτή καταγράφεται στις βιβλιογραφικές πηγές.

Τα κυριότερα προβλήματα που συναντώνται σε κυκλώματα ψύξης και έχουν σχέση με το νερό που κυκλοφορεί μέσα απ' αυτά, είναι τα εξής [1,12] :

- ◆ Η **διάβρωση** είναι συνάρτηση τόσο των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, όσο και των μεταλλικών υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένο το κύκλωμα. Προκαλεί πρόιμη αστοχία υλικού (*metal failure*) και την εναπόθεση προϊόντων διάβρωσης που ελαττώνουν την μεταφορά θερμότητας και τους ρυθμούς ροής.
- ◆ Οι **επικαθίσεις**, οι οποίες αναλόγως με τα συστατικά από τα οποία αποτελούνται, μπορούν περαιτέρω να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες :

- Οι **καθαλατώσεις** (*scaling* ή *precipitation fouling*), που προκαλούνται από την καταβύθιση αλάτων, τα οποία σχηματίζονται από διαλυτά στο νερό ιόντα που γίνονται αδιάλυτα σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$  – ασβεστίτης). Οι επικαθίσεις μειώνουν αισθητά την μεταφορά θερμότητας.
- Οι **σωματιδιακές επικαθίσεις** (*particulate fouling*), που προκαλούνται από φερτές, αδιάλυτες στο νερό ύλες, όπως η σκόνη, η άμμος, τα λάδια, η λάσπη κτλ.
- Οι **βιολογικές επικαθίσεις** (*biological fouling*), που προκαλούνται από την ανάπτυξη και την συσσώρευση των μικροοργανισμών στα ανοικτά κυρίως κυκλώματα.
- Τέλος, όπως ήδη αναφέρθηκε, επικαθίσεις μπορούν να δημιουργηθούν και από την εναπόθεση τοπικά προϊόντων της διάβρωσης [5,7].

Η επεξεργασία του νερού ψύξης για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων ακολουθεί κάποιους βασικούς κανόνες για όλους τους τύπους των κυκλωμάτων (ανοικτά, κλειστά κτλ.). Σημαντικό πρωταρχικό βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός του προβλήματος και κατόπιν μια σχολαστική μελέτη του σχεδιασμού του κυκλώματος, των λειτουργικών του παραμέτρων και της ποιότητας του νερού για την τελική επιλογή ενός αξιόπιστου και οικονομικού προγράμματος επεξεργασίας.



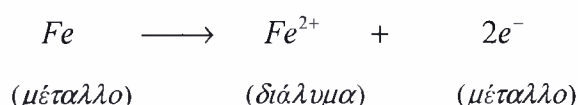
### 3.1. Προβλήματα Διάβρωσης στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης

Η διάβρωση μπορεί να οριστεί ως η καταστροφή μιας μεταλλικής επιφάνειας από χημικές ή ηλεκτροχημικές αντιδράσεις με το περιβάλλον της. Στα ψυκτικά κυκλώματα, η διάβρωση προκαλεί δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο και πιο εμφανές έχει να κάνει με την αστοχία του εξοπλισμού μιας εγκατάστασης και συνεπώς με το κόστος που απαιτείται για την αντικατάστασή του καθώς και με το κόστος που συνεπάγεται η διακοπή της λειτουργίας της εγκατάστασης. Το δεύτερο αναφέρεται στην μειωμένη απόδοση της εγκατάστασης εξαιτίας της απώλειας μεταφοράς θερμότητας, που προκαλείται από την συσσώρευση των διαφόρων προϊόντων της διάβρωσης στους εναλλάκτες θερμότητας της εγκατάστασης (π.χ. πύργους ψύξης, εναλλάκτες πλακών, κελύφους – αυλών κτλ.)

#### 3.1.1. Θεωρία της διάβρωσης από το νερό

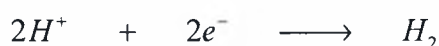
Τα βασικότερα σημεία της θεωρίας της διάβρωσης θα μελετηθούν πάνω στο σύστημα σίδηρος/νερό, γιατί ο σίδηρος (ή χάλυβας) είναι το κύριο υλικό κατασκευής και επιπλέον μπορεί πολύ εύκολα να γίνει η μετάβαση στο σύστημα μέταλλο/νερό.

Η ελεύθερη ενέργεια των ιόντων του σιδήρου στο μεταλλικό κρυσταλλικό πλέγμα είναι μεγαλύτερη από αυτή στο υδατικό διάλυμα. Επομένως, σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, τα ιόντα του σιδήρου έχουν την τάση να περνούν από το μεταλλικό κρυσταλλικό πλέγμα στην υγρή φάση, που είναι σε επαφή με το σίδηρο :



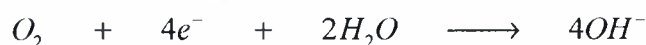
Η παραπάνω αντίδραση οδηγεί στο σχηματισμό μιας ηλεκτρικής διπλοστιβάδας, συνιστάμενης από ένα «σύννεφο» ιόντων σιδήρου στην υγρή φάση σε επαφή με το μέταλλο και από ένα «σύννεφο» ηλεκτρονίων στο μέταλλο (άνοδος). Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ μετάλλου και διαλύματος, το οποίο είναι τόσο ισχυρότερο, όσο περισσότερα ιόντα περνούν στο διάλυμα. Για την υπερνίκηση αυτού του πεδίου και την διέλευση τους στο διάλυμα, τα ιόντα καταναλώνουν ενέργεια, η οποία εξαρτάται από τη διαφορά της ελεύθερης ενέργειας των ιόντων του σιδήρου στη στερεή μεταλλική φάση και στο διάλυμα. Όταν η ενέργεια που καταναλώνεται για την υπερνίκηση του ηλεκτρικού πεδίου καταστεί ανεπαρκής, τότε επέρχεται μια κατάσταση ισορροπίας.

Το νερό περιέχει πάντοτε κατιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ) από την ιονική του διάσταση. Επομένως απουσία οξυγόνου από το υδατικό διάλυμα μπορεί να λάβει χώρα στην μεταλλική επιφάνεια η παρακάτω αντίδραση αναγωγής :

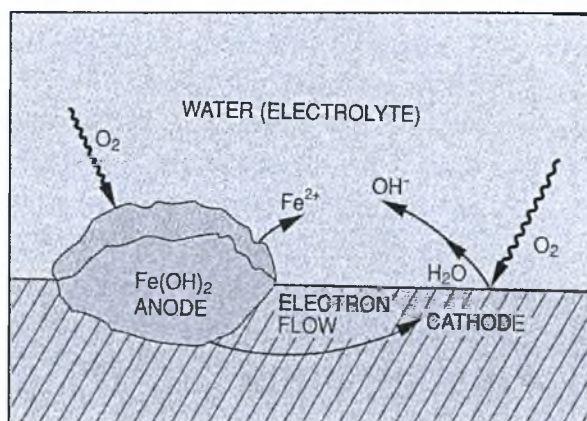


Η παραπάνω αντίδραση αντιστοιχεί στην δράση του ηλεκτροδίου υδρογόνου (κάθοδος).

Στην περίπτωση που υπάρχει οξυγόνο στο διάλυμα, χάρη στο υψηλότερο δυναμικό του ηλεκτροδίου οξυγόνου κυριαρχεί η παρακάτω αντίδραση αναγωγής στην μεταλλική επιφάνεια :



Η διάβρωση του σιδήρου αλλά και άλλων μετάλλων (Al, Zn, Ni) είναι αυθόρμητη αντίδραση, επειδή η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας του συστήματος μέταλλο/νερό είναι αρνητική [5,7,12].



Σχήμα 3.1. Κλασσικό «κελί διάβρωσης» [3].

### 3.1.2. Διάκριση – Ταξινόμηση διαφόρων τύπων διάβρωσης

Η διάκριση – ταξινόμηση των διαφόρων τύπων διάβρωσης, που προκαλεί το νερό, γίνεται με κριτήριο την εμφάνιση των διαβρωμένων επιφανειών. Επομένως, διακρίνονται οι παρακάτω τύποι [12,1,10,13,5,7]:

Ομοιόμορφη προσβολή (uniform corrosion) : Αποτελεί τον πιο κοινό τύπο διάβρωσης και αντιμετωπίζεται ευκολότερα με την χρήση προστατευτικών στρωμάτων. Το σκούριασμα του σιδήρου ανήκει σ' αυτήν την κατηγορία.

Γαλβανική προσβολή (galvanic corrosion) : Γαλβανική προσβολή συμβαίνει όταν δύο διαφορετικά μέταλλα είναι σ' επαφή ή συνδέονται με ένα ηλεκτρικό αγωγό και διαβρέχονται από το νερό. Τα μέταλλα δημιουργούν τότε γαλβανικό στοιχείο με αποτέλεσμα το λιγότερο ευγενές να διαλύεται, γιατί σχηματίζει την άνοδο του στοιχείου. Αντιμετωπίζεται με όσο το δυνατό καλύτερη ηλεκτρική μόνωση των δύο μετάλλων.

Διάβρωση με βελονισμούς (Pitting Corrosion): Η διάβρωση με βελονισμούς εντοπίζεται σε ορισμένα μόνο σημεία μιας κατά τα άλλα απρόσβλητης επιφάνειας. Οι βελονισμοί είναι τρύπες διαφόρου βάθους, μεγέθους και σχήματος. Για την αντιμετώπιση της θα πρέπει η επιφάνεια του μετάλλου να είναι καθαρή και ομοιογενής.

Διάβρωση Ρωγμών ή εσοχής (Crevice Corrosion) : Η διάβρωση ρωγμών ή εσοχής είναι τοπικού τύπου. Εμφανίζεται σε ρωγμές που υπάρχουν στις μεταλλικές επιφάνειες. Η συγκέντρωση των διαβρωτικών ουσιών αυξάνεται τοπικά στο χώρο των ρωγμών, δημιουργώντας έτσι ένα πολύ διαβρωτικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα ανιόντα που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό, όπως τα **χλωριόντα**, προάγουν τις αντιδράσεις υδρόλυσης που προκαλούν το πρόβλημα.

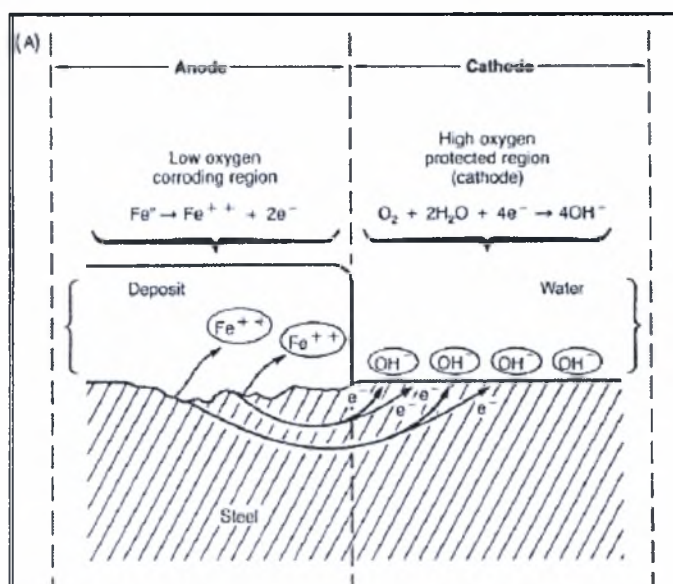
Διάβρωση τριβής (Erosion Corrosion): Η διάβρωση τριβής προκαλείται από την κίνηση του νερού στην μεταλλική επιφάνεια και είναι αποτέλεσμα ηλεκτροχημικής διάβρωσης και μηχανικής φθοράς. Ο ρόλος της τριβής στην απομάκρυνση των προστατευτικών επιφανειακών στρωμάτων είναι μεγάλος. Γι' αυτό και αυτού του τύπου η διάβρωση εμφανίζεται όταν το νερό έχει μεγάλη ταχύτητα ροής ή προσκρούει σε μεταλλικές επιφάνειες. Εμφανίζεται κυρίως σε φτερωτές αντλιών, σε γωνιές και διακλαδώσεις σωληνώσεων. Επίσης γρήγορα κινούμενες λάσπες με σκληρά αιωρούμενα στερεά μπορούν εύκολα να προκαλέσουν διάβρωση τριβής.

Περικρυσταλλική Διάβρωση (Intergranular Corrosion) : Πρόκειται για μια τοπική προσβολή των ορίων των κρυσταλλιτών του μετάλλου. Κατά την χύτευση του τηγμένου σιδήρου, η στερεοποίηση του αρχίζει από πολλούς τυχαία κατανομημένους πυρήνες. Από τους πυρήνες αυτούς αρχίζει η δόμηση των κρυστάλλων του μετάλλου. Τα επίπεδα των γειτονικών κρυστάλλων τέμνονται και οι ακμές που σχηματίζονται αποτελούν και τα όρια των κρυστάλλων, που είναι πλουσιότερα σε ενέργεια αποτελώντας τοπικές ανόδους. Είναι δυνατόν επομένως να λάβει χώρα διάβρωση κατά μήκος των κρυσταλλικών ορίων, που είναι γνωστή σαν περικρυσταλλική διάβρωση. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η επιφάνεια του μετάλλου να εμφανίζεται

τραχεία στο γυμνό μάτι και να τρίβεται σαν ζάχαρη εξ' αιτίας των χαλαρών κρυστάλλων.

Ψαθυρή Θραύση από διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση (Stress Corrosion Cracking): Ο συνδυασμός μιας μηχανικής ελαστικής τάσης του μετάλλου και της διαβρωτικής δράσης του νερού μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγήσει στην θραύση του μετάλλου. Για την αποφυγή της ψαθυρής διάβρωσης πρέπει να αποφεύγονται οι μηχανικές τάσεις και να εκλέγεται το κατάλληλο υλικό, που είναι ανθεκτικό στις ειδικές συνθήκες. Οι ξένες προσμίξεις δημιουργούν τα μονοπάτια, κατά την διαδρομή των οποίων λαμβάνει χώρα η διάβρωση και δημιουργούνται οι ρωγμές.

Διάβρωση κάτω από επικαθίσεις (underdeposit corrosion): Οι επικαθίσεις προκαλούν διάβρωση έμμεση ή άμεση. Η προσβολή της επιφάνειας είναι άμεση όταν οι επικαθίσεις περιέχουν διαβρωτικά συστατικά. Η έμμεση προσβολή γίνεται στα λεγόμενα «κελιά συγκέντρωσης», με πιο γνωστό το «κελί» οξυγόνου. Απαντάται σχεδόν σε κάθε σύστημα ψύξης και σε οποιαδήποτε θέση. Επικαθίσεις θειούχων μετάλλων και διοξειδίου του μαγγανίου καθώς και οι πορώδεις επικαθίσεις έχουν την τάση να προκαλούν σοβαρή προσβολή του μετάλλου.



Σχήμα 3.2. «Κελί συγκέντρωσης» κάτω από επικαθίσεις [1].

Βιολογική διάβρωση (biological induced corrosion) : Δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί που οδηγούν σε βιολογική διάβρωση. Ουσίες που παράγονται βιολογικά στο σύστημα ψύξης μπορούν να προκαλέσουν ενεργητική ή παθητική προσβολή. Ενεργητική βιολογική διάβρωση ορίζεται η άμεση χημική αλληλεπίδραση οργανισμών με το υλικό είτε για να δημιουργηθούν συνθήκες ευνοϊκές για διάβρωση είτε για να επιταχυνθούν προϋπάρχουσες διεργασίες διάβρωσης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται και η **μικροβιολογική διάβρωση**. Στην παθητική προσβολή, το βιολογικό υλικό δρα ως χημικά αδρανής ουσία (*underdeposit corrosion*). Τέσσερα είδη βακτηρίων συνδέονται με την επιταχυνόμενη διάβρωση σε ψυκτικά συστήματα:

- ◆ Βακτήρια θεικών (*desulfomonsis, desulfonibrio, desulfotomic calum*)
- ◆ Βακτήρια που παράγουν οξέα (π.χ. *thiobacillus thiooxidans*)
- ◆ Βακτήρια-αποθέτες. Οξειδώνουν το δισθενή σίδηρο σε τρισθενή (*gullionella*)
- ◆ Κοινά βακτήρια (π.χ. *pseudomonas*)

Διάβρωση λόγω οξέος : Προκαλείται συνήθως από είσοδο οξέος στο σύστημα (λάθος στη δοσολογία ή διαρροή από τη διεργασία).

Αλκαλική διάβρωση : Γενικά η διάβρωση των βιομηχανικών κραμάτων σε αλκαλικά νερά είναι μικρότερης σημασίας από την προσβολή σε όξινες συνθήκες. Μερικά όμως υλικά ψυκτικών συστημάτων, όπως το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος και τα κράματά τους, προσβάλλονται έντονα σε μεγαλύτερα *pH*.

### 3.1.3. Λειτουργικοί Παράμετροι που επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης

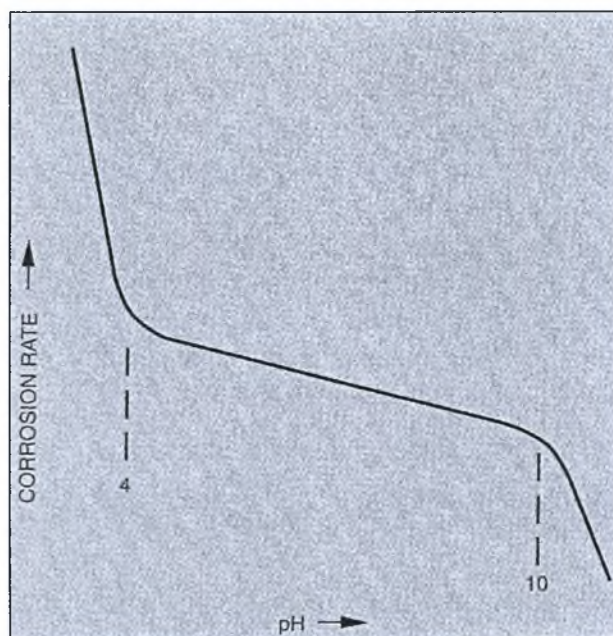
Ο ρυθμός διάβρωσης μιας μεταλλικής επιφάνειας επηρεάζεται από τους ακόλουθους λειτουργικούς παράγοντες [6,7]:

Θερμοκρασία : Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι με αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται και ο ρυθμός της διάβρωσης. Αυτό οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους :

1. Στην επίδραση της θερμοκρασίας στην κινητική της αντίδρασης διάβρωσης
2. Στην αύξηση του ρυθμού διάχυσης των διαβρωτικών προϊόντων με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η δράση αυτή (διάχυση) έχει σαν αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη παράδοση των προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνεια του μετάλλου.

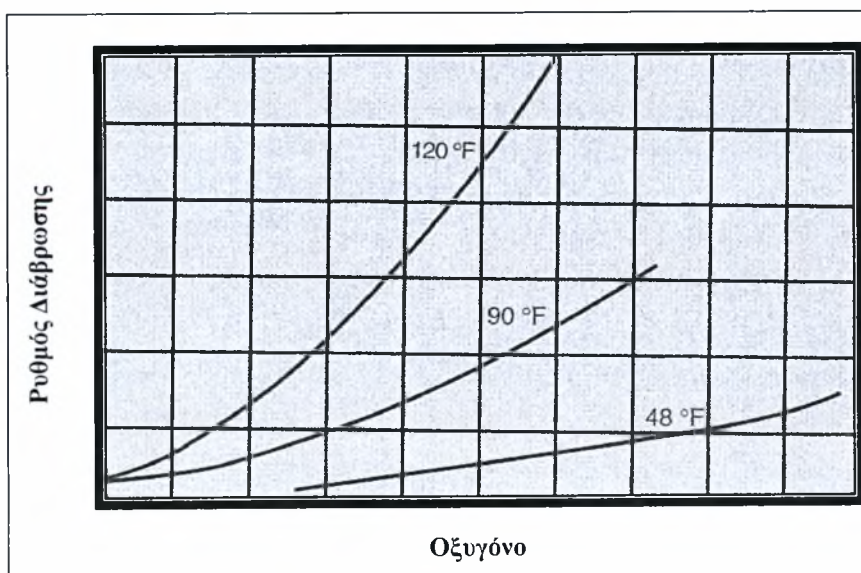
Ωστόσο πολλά αέρια σε ανοικτά κυκλώματα εμφανίζουν χαμηλότερη διαλυτότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Επομένως, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να παρατηρηθεί μείωση των ρυθμών διάβρωσης με αύξηση της θερμοκρασίας.

pH : Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι ρυθμοί διάβρωσης μιας επιφάνειας αυξάνονται με την μείωση του pH (βλ. Διάβρωση λόγω οξέος). Αυτό είναι αποτέλεσμα της αύξησης της συγκέντρωσης του διαβρωτικού κατιόντος υδρογόνου ( $H^+$ ) και της αυξημένης διαλυτότητας που εμφανίζουν οι περισσότερες διαβρωτικές ουσίες κάτω από αυτές τις συνθήκες. Στο σχήμα 3.3. παρουσιάζεται η επίδραση του pH του νερού στον ρυθμό διάβρωσης του σιδήρου.



Σχήμα 3.3. Επίδραση του pH στον ρυθμό διάβρωσης του σιδήρου [3].

Συνκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου : Το οξυγόνο αποτελεί ένα διαβρωτικό αέριο. Με αύξηση της συγκέντρωσης του, αυξάνεται και ο ρυθμός διάβρωσης, μέχρις ότου ο ρυθμός διάχυσης του στην επιφάνεια προσεγγίσει ένα μέγιστο. Η ίδια αρχή ισχύει και για τα υπόλοιπα οξειδωτικά μέσα όπως το  $\text{Cl}_2$ , το  $\text{H}^+$ , το  $\text{Br}_2$ . Στο σχήμα 3.4. παρουσιάζεται η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στον ρυθμό διάβρωσης σε διάφορες θερμοκρασίες.



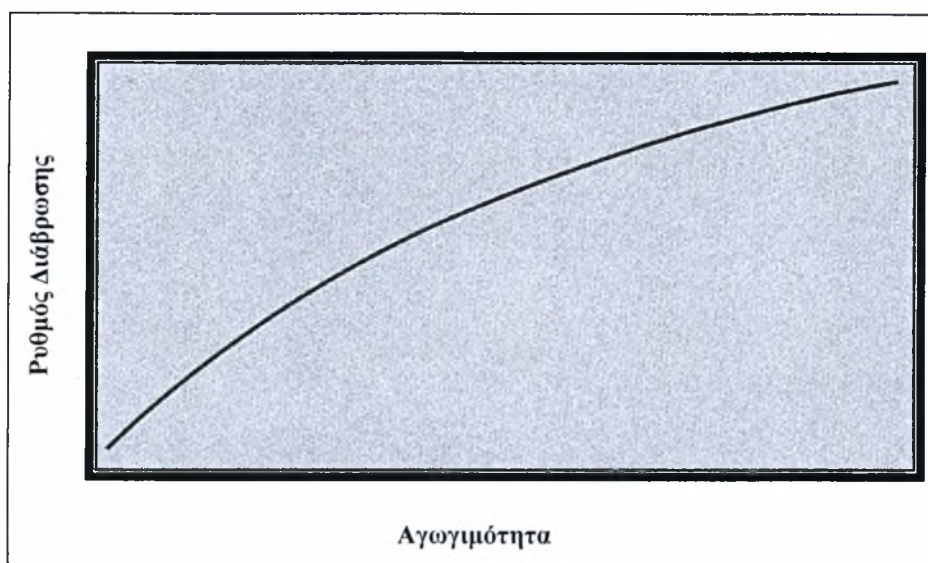
Σχήμα 3.4. Επίδραση της συγκέντρωσης οξυγόνου στον ρυθμό διάβρωσης σε διάφορες θερμοκρασίες [3].



Ταχύτητα του ρευστού : Η εξάρτηση του ρυθμού διάβρωσης από την ταχύτητα του ρευστού είναι περίπλοκη. Σε γενικές γραμμές μπορεί να ειπωθεί πως όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο αυξάνεται και ο ρυθμός διάβρωσης της μεταλλικής επιφάνειας. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, ακόμη και σε μηδενικές, ο παράγοντας της διάχυσης ελέγχει τον ρυθμό της διάβρωσης. Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, αυξάνεται και ο ρυθμός της διάβρωσης. Κατόπιν, καθώς ο ρυθμός διάχυσης προσεγγίζει μια μέγιστη τιμή σε μια δεδομένη θερμοκρασία, ο ρυθμός διάβρωσης δεν επηρεάζεται από την περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του ρευστού. Σε κάποιο σημείο ωστόσο, η ταχύτητα του ρευστού γίνεται τόσο μεγάλη που διαρρηγνύει τον προστατευτικό υμένα της επιφάνειας του μετάλλου, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση του ρυθμού διάβρωσης.

Αιωρούμενα Στερεά : Μια αύξηση των επιπέδων τιμών των αιωρούμενων στερεών στο νερό έχει σαν αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διάβρωσης. Στα στερεά αυτά περιλαμβάνονται κάθε οργανική και ανόργανη ρυπαντική ύλη, όπως σκόνη, άμμος, λάδια, λάσπη, μικροοργανισμοί κτλ.

Εκτός των αιωρούμενων στερεών και άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης με κύρια τα *χλωριόντα* ( $\text{Cl}^-$ ) και τα *θειικά ιόντα* ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Σε γενικές γραμμές μπορεί να αναφερθεί πως άλατα που υδρολύονται προς όξινα συστατικά (π.χ.  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{NiSO}_4$ ) είναι διαβρωτικά, ενώ άλλα που υδρολύονται προς αλκαλικά (π.χ.  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  και  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) προστατεύουν από την διάβρωση [12]. Με αύξηση ωστόσο του συνόλου των διαλυμένων στερεών *TDS* ( $\propto$  αγωγιμότητας) παρατηρείται αύξηση και στον ρυθμό της διάβρωσης [10,3,12]. Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η επίδραση της αγωγιμότητας στον ρυθμό διάβρωσης.



Σχήμα 3.5. Επίδραση της αγωγιμότητας στον ρυθμό διάβρωσης [3].

### 3.2. Αντιμετώπιση Προβλημάτων Διάβρωσης στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης

Αναμφισβήτητα ένα πρώτο βήμα που μπορεί να γίνει προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης των προβλημάτων διάβρωσης είναι η μέτρηση και η καταγραφή του φαινομένου. Υπάρχουν γι' αυτό το λόγο διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται και ο κάθε μηχανικός πρέπει να εκλέξει την ή τις καταλληλότερες για την κάθε περίπτωση. Έτσι οι ρυθμοί διάβρωσης μπορούν να παρακολουθούνται και να ελέγχονται με την χρήση δοκιμίων διάβρωσης (κουπόνια – «μάρτυρες» διάβρωσης) και μη καταστροφικών μεθόδων (υπέρηχοι – ακτίνες X). Τέλος, οι υψηλές τιμές ολικού διαλυτού σιδήρου που προκύπτουν από τις χημικές αναλύσεις των νερών ψύξης μπορεί επίσης να αποτελούν ενδείξεις διάβρωσης [3].

Η διάβρωση στα ανοικτά συστήματα ανακυκλοφορίας ελέγχεται με τη χρήση είτε ανόργανων είτε οργανικών αναστολέων διάβρωσης (corrosion inhibitors). Οι τέσσερις κύριες ομάδες ανόργανων αναστολέων είναι τα **χρωμικά**, ο **ψευδάργυρος**, τα **ορθοφωσφορικά** και τα **πολυφωσφορικά**. Μικρότερης σημασίας ανόργανες

ενώσεις που χρησιμοποιούνται είναι τα **μολυβδαινικά**, **νιτρώδη** και **πυριτικά άλατα**. Πολύ συχνά οι ενώσεις αυτές παρουσιάζουν μια ισχυρή επίδραση στον σχηματισμό προστατευτικού υμένα και παθητικοποίησης των επιφανειών [1,6].

Οι οργανικοί αναστολείς διάβρωσης χαρακτηρίζονται από δομές με υψηλά μοριακά βάρη που περιέχουν και ομάδες αζώτου και φωσφόρου, ενώ τα μόρια τους εμφανίζουν υψηλή πολικότητα. Οι κυριότεροι οργανικοί αναστολείς συνίστανται στους **φωσφορικούς εστέρες** και τα **φωσφονικά άλατα** [1,6,12].

*Τα κλειστά κυκλώματα νερού ψύξης* παρουσιάζουν κάποιες ευκολίες ως προς την αντιμετώπιση προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων, σε σχέση με τα ανοικτά. Οι απώλειες των κυκλωμάτων αυτών σε νερό είναι ελάχιστες, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση αποσκληρωμένου ή και αφαλατωμένου νερού σαν νερό συμπλήρωσης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τις πιθανότητες εμφάνισης προβλημάτων διάβρωσης αλλά και επικαθίσεων αλάτων. Επιπλέον στα κυκλώματα αυτά δεν παρατηρούνται και μεγάλες συγκεντρώσεις φερτών ουσιών όπως σκόνη, άμμος, λάδια, λάσπη και μικροοργανισμοί καθώς οι εστίες μόλυνσης και ρύπανσης είναι περιορισμένες (απουσία επαφής του νερού με την ατμόσφαιρα και τις επιβαρυνμένες συνθήκες του εργοστασίου). Αποτέλεσμα είναι τα φαινόμενα της ρύπανσης (fouling) και της ανάπτυξης των μικροοργανισμών που εκδηλώνονται σε μεγάλο βαθμό στους πύργους ψύξης να απουσιάζουν. Τέλος, στην περίπτωση ενός τέτοιου κυκλώματος μπορεί να εφαρμοσθεί οποιοδήποτε κατάλληλο αντιδιαβρωτικό, χωρίς τον περιορισμό ρύπανσης των απόνερων.

Τα συνήθη αντιδιαβρωτικά που χρησιμοποιούνται στα κλειστά κυκλώματα είναι τα χρωμικά, τα νιτρώδη και τα βενζοϊκά άλατα. Συχνά χρησιμοποιούνται μίγματα αντιδιαβρωτικών, ώστε να αξιοποιηθεί η συνεργιστική τους δράση, αλλά και η ικανότητα του καθενός να προστατεύει εκλεκτικά ένα ορισμένο υλικό. Εκτός από τα χρωμικά, που προστατεύουν όλα τα κυρίως χρησιμοποιούμενα υλικά κατασκευής, τα άλλα αντιδιαβρωτικά παρουσιάζουν μια λίγο – πολύ εκλεκτικότητα. Στον πίνακα 3.1 δίνεται η δράση των διαφόρων αντιδιαβρωτικών για διάφορα υλικά κατασκευής.

Αντιδιαβρωτικό Υλικό Κατασκευής	Βενζοϊκό Na	Νιτρώδες Na	Μονόξινο Φωσφορικό Na	Πυριτικό Na	Χρωμικό Na
C – Χάλυβας	VV	VVV	VV	VV	VVV
Χαλκός	V	V	-	-	VV
Αλουμίνιο	-	V	V	V	V
Ψευδάργυρος	VV	VV(ΛΛ*)	V	VV	VVV
V/VV/VVV : ελαφρή/ μέση/ ισχυρή προστασία Λ/ΛΛ/ΛΛΛ : ελαφρή/ μέση/ ισχυρή επιτάχυνση της διάβρωσης - : πρακτικά καμία δράση * : υψηλή θερμοκρασία					

Πίνακας 3.1. Δραστηκότητα αντιδιαβρωτικών σε διάφορα υλικά κατασκευής (Μέσο : Νερό, 15 ppm Cl<sup>-</sup>, 15 ppm SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 200 ppm CaCO<sub>3</sub> στους 35°C) [12].

Στα ανοικτά κυκλώματα νερού ψύξης οι πρώτες χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της διάβρωσης ήταν τα πολυφωσφορικά και/ ή μίγματα τους με πυριτικό νάτριο. Το κύριο μειονέκτημα της τεχνικής είναι η ανεπιθύμητη μετατροπή των πολυφωσφορικών σε ορθοφωσφορικά και η πιθανή δημιουργία επικαθίσεων φωσφορικού ασβεστίου αλλά και η ανάπτυξη μεγάλου αριθμού μικροοργανισμών.

Η επόμενη γενεά χημικών ήταν τα χρωμικά, σε συγκεντρώσεις που προσεγγίζουν τα 300 mg/lit (ως CrO<sub>4</sub>) με ταυτόχρονη ρύθμιση του pH μεταξύ 6 και 7. Βρέθηκε ότι η ταυτόχρονη χρήση χρωμικών με μικρές ποσότητες άλλων αναστολέων (π.χ. ψευδάργυρος) είχε συνεργητικά αποτελέσματα πολύ καλής προστασίας, επιτρέποντας τη μείωση της συγκέντρωσης των χρωμικών στα 20-30 mg/lit. Τα προϊόντα αυτά όμως έχουν απαγορευτεί λόγω των περιορισμών που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος [10,1,12].

Οι παραπάνω περιβαλλοντικοί περιορισμοί κατατείνουν στη χρήση οργανικών ενώσεων και στην αύξηση του  $pH$  λειτουργίας στην περιοχή από 7.5 μέχρι 9. Οι οργανικές ενώσεις περιλαμβάνουν οργανικές ενώσεις φωσφόρου, συνθετικά πολυμερή και αρωματικές αζόλες. Όσον αφορά τις οργανοφωσφορικές ενώσεις, η βασική ιδέα ανάπτυξης τους είναι η εξής : Τα οργανοφωσφορικά επιτρέπουν την λειτουργία σε ψηλότερες τιμές του  $pH$ , εμποδίζοντας τη δημιουργία επικαθίσεων αλάτων, ενώ είναι απαλλαγμένα από τα μειονεκτήματα των πολυφωσφορικών. Οι ενώσεις που σχηματίζουν με τα  $Ca^{2+}$  αποτελούν ταυτόχρονα και καθοδικά αντιδιαβρωτικά. Οι συνεργές τους ουσίες είναι ανοδικά αντιδιαβρωτικά (π.χ. πυριτικά), που συμπληρώνουν την αντιδιαβρωτική προστασία. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην αρχή της παραγράφου, οι κυριότερες οργανοφωσφορικές ενώσεις είναι τα φωσφωνικά παράγωγα (π.χ. τριμεθυλοφωσφωνική αμίνη – AMP και το 1 υδροξυαιθυλιδεν, 1,1 διφωσφωνικό οξύ – HEDP) και οι φωσφορικοί εστέρες (πολυεστέρες) [14,6,12].

### **3.3. Προβλήματα Επικαθίσεων (αποθέσεων) στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης**

Η συσσώρευση αποθέσεων στα ψυκτικά κυκλώματα του νερού μειώνει την απόδοση σε μεταφορά θερμότητας και την δυναμικότητα του δικτύου παροχής νερού. Επιπλέον, οι επικαθίσεις (αποθέσεις) μπορεί να προκαλέσουν τον σχηματισμό διαφορικών κελιών συγκέντρωσης οξυγόνου. Τα κελιά αυτά είναι υπεύθυνα για την επιτάχυνση της διάβρωσης και μπορεί να οδηγήσουν στην καταστροφή – αστοχία του εξοπλισμού της διεργασίας. Η μορφή των επικαθίσεων παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία. Έτσι μπορεί να έχουν την μορφή λεπτών υμένων συμπαγούς συνοχής ή να εμφανίζονται σαν παχιές ζελατινώδεις μάζες, γεγονός που εξαρτάται από το είδος και τον μηχανισμό που ευθύνεται για την δημιουργία τους.

Μια περίπτωση επικαθίσεων μπορεί να είναι εκείνες που σχηματίζονται από τις αντιδράσεις της ρευστής φάσης (βιομηχανικό νερό), κυρίως με το σίδηρο του μεταλλικού εξοπλισμού. Οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του μετάλλου και από τις πιο συνηθισμένες είναι ο σχηματισμός των οξειδίων  $FeO - Fe_3O_4 - Fe_2O_3$  κατά σειρά από το εσωτερικό προς την διεπιφάνεια χάλυβα – νερού.

### 3.3.1. Καθαλατώσεις

Οι καθαλατώσεις ή επικαθίσεις λόγω κρυστάλλωσης (*scaling* ή *precipitation fouling*) είναι υδατογενείς αποθέσεις και είναι αποτέλεσμα αντιδράσεων μεταξύ ιόντων. Για να σχηματισθεί η στερεή φάση δεν φτάνει μόνο να ξεπερνιέται το γινόμενο διαλυτότητας ενός άλατος, αλλά και να υπάρχουν στο διάλυμα στοιχειώδεις κρύσταλλοι, πάνω στους οποίους θα δομηθεί η στερεή φάση.

Οι καθαλατώσεις είναι οι δυσκολότερες αποθέσεις στην βιομηχανική πράξη εξ' αιτίας της υφής τους. Αποτελούνται από κρυσταλλικά δυσδιάλυτα άλατα, που σχηματίζουν συμπαγείς κρούστες με πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Αυτή ακριβώς η θερμομονωτικότητα των αποθέσεων είναι από τα σοβαρότερα μειονεκτήματα τους που τις κάνει εξαιρετικά ανεπιθύμητες.

Ο σχηματισμός των αλάτων σε ένα ρευστό (νερό) δεν είναι μόνο θερμοδυναμική παράμετρος αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την κινητική της αντίδρασης σχηματισμού. Για να αρχίσει αυτή η αντίδραση να προχωρά με κάποια ταχύτητα, θα πρέπει να διατεθεί στο σύστημα η ενέργεια ενεργοποίησης, δηλαδή να δοθεί στις προς αντίδραση ουσίες η ελάχιστη απαραίτητη ενέργεια που απαιτείται για την σύγκρουση τους και τον σχηματισμό των τελικών προϊόντων. Ο σχηματισμός των πυρήνων της κρυστάλλωσης, οι οποίοι είναι πολύ μικροί σε μέγεθος, απαιτεί μεγάλη επιφανειακή ενέργεια. Μετά τον σχηματισμό των πρώτων σταθερών πυρήνων, η πορεία της αντίδρασης ανάπτυξης των κρυστάλλων γίνεται ταχύτερη [12,4].

Η ενέργεια ενεργοποίησης που αποτελεί το φράγμα για την πραγματοποίηση της αντίδρασης σχηματισμού των πυρήνων των κρυστάλλων του άλατος έχει βρεθεί ότι εξαρτάται από το βαθμό υπερκορεσμού και από το μέγεθος των πυρήνων. Ο **βαθμός υπερκορεσμού**  $S$  είναι το γινόμενο των ενεργοτήτων των ιόντων ενός άλατος στο διάλυμα, προς την θεωρητική διαλυτότητα ενός μεγάλου κρυστάλλου του. Επομένως για κάποιο άλας της μορφής  $M_aX_b$ , ο βαθμός υπερκορεσμού  $S$  θα δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$S = \frac{\{M\}^a \{X\}^b}{K_{sp(M_aX_b)}} \quad (3-1)$$

Όπου :

$\{M\}$ ,  $\{X\}$  : Ενεργότητες των ιόντων  $M^{b+}$  και  $X^{a-}$

$K_{sp(M_aX_b)}$  : Γινόμενο Διαλυτότητας του άλατος

Για ένα δεδομένο μέγεθος πυρήνα η ενέργεια ενεργοποίησης που θα απαιτείται για τον σχηματισμό του, θα ελαττώνεται με την αύξηση του βαθμού υπερκορεσμού.

Στο βιομηχανικό νερό είναι παρόντα διάφορα ξένα αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία μπορούν να δράσουν σαν πυρήνες κρυστάλλωσης κατά το στάδιο σχηματισμού των πυρήνων, μειώνοντας έτσι την ενέργεια ενεργοποίησης. Επομένως, ο σχηματισμός των πυρήνων μπορεί να αρχίσει με μικρότερο βαθμό υπερκορεσμού του συστήματος. Από την άλλη μεριά, ελάχιστες ποσότητες επιφανειακά ενεργών ή άλλων ουσιών, μπορούν να προσροφηθούν σε ενεργές θέσεις αυτών των τεμαχιδίων και να εμποδίσουν το σχηματισμό πυρήνων. Τέτοια είναι η δράση των **αντικαθαλατωτικών ή αναστολέων επικαθίσεων** (*scale inhibitors*).

Η αποτελεσματικότητα των αντικαθαλατωτικών εκτιμάται σε σχέση με το **χρόνο επαγωγής** της αντίδρασης σχηματισμού της στερεάς φάσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος επαγωγής, τόσο δραστηκότερο είναι ένα αντικαθαλατωτικό για μια ορισμένη αντίδραση και σε μια ορισμένη δόση. Εξαιτίας της αύξησης της θολότητας του διαλύματος με την δημιουργία των πυρήνων και τον γρήγορο σχηματισμό των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....

κρυσταλλιτών, το νεφελόμετρο χρειάζεται κάποιο χρόνο ώστε να καταστήσει μετρήσιμη την μεταβολή αυτή (αύξηση της θολότητας). Ο χρόνος αυτός που είναι χαρακτηριστικός για τις αντιδράσεις καθαλατώσεως, ονομάζεται χρόνος επαγωγής *IT* (*Induction Time*) και δίνεται από την σχέση :

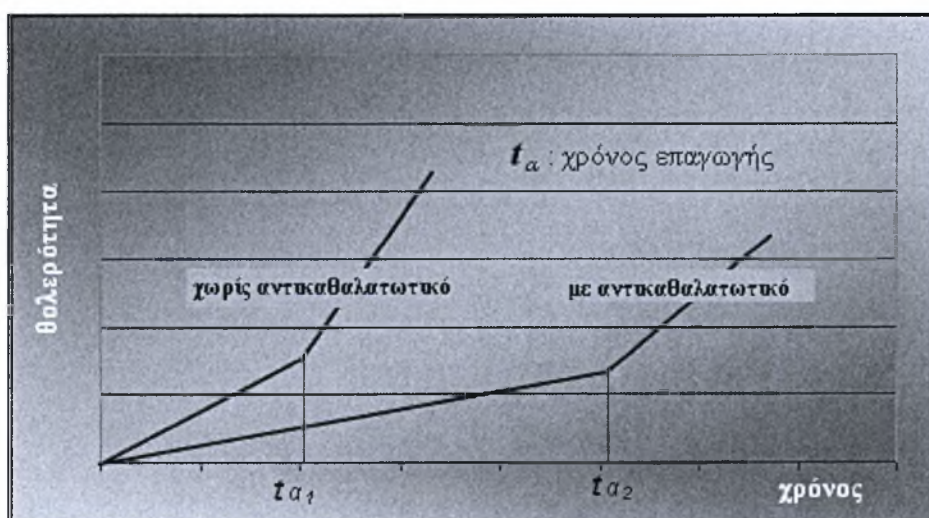
$$IT = k \cdot C^{-n} \quad (3-2)$$

Όπου *k* : σταθερά

*C* : Συγκέντρωση του άλατος ή το γινόμενο συγκέντρωσης των ιόντων του

*n* : Εκθέτης (= 2 έως 5)

Για να μην συμβαίνουν καθαλατώσεις στην βιομηχανική πράξη, θα πρέπει οι αντίστοιχες αντιδράσεις να χαρακτηρίζονται από όσο το δυνατό μεγαλύτερους χρόνους επαγωγής (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6. Χρόνος Επαγωγής μιας αντίδρασης με και χωρίς αντικαθαλατωτικά [12].



### Κοινοί Τύποι Καθαλατώσεων

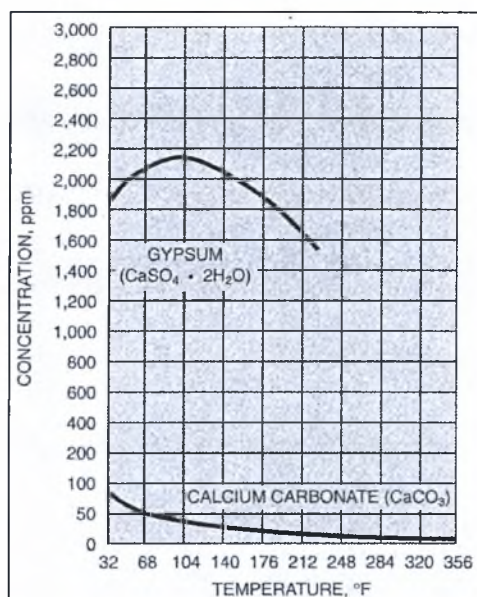
Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι επικαθίσεις που σχηματίζονται στα κυκλώματα νερού ψύξης σπάνια είναι ομογενείς. Στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι υδατογενείς επικαθίσεις λειτουργούν σαν υπόστρωμα, το οποίο ενσωματώνει λάσπη και άλλους ρυπαντές με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων στρωμάτων αποθέσεων τοπικού χαρακτήρα. Οι πιο κοινοί τύποι καθαλατώσεων που συναντώνται στην βιομηχανική πρακτική είναι οι εξής [6]:

Αποθέσεις Ανθρακικού Ασβεστίου ( $CaCO_3$ ) : Το ανθρακικό ασβέστιο σχηματίζει ένα πυκνό, και εξαιρετικά συνεκτικό στρώμα επικαθίσης. Είναι με διαφορά το πιο συχνό πρόβλημα αποθέσεων στα ψυκτικά κυκλώματα. Παρόλο που η διαλυτότητα του όξινου ανθρακικού ασβεστίου  $Ca(HCO_3)_2$  είναι μεγάλη στα περισσότερα φυσικά νερά, το τελευταίο θα μετατραπεί σε ανθρακικό ασβέστιο  $CaCO_3$ , όταν το  $pH$  ή/ και η θερμοκρασία του νερού σημειώσουν αύξηση. Με θέρμανση επομένως λαμβάνει χώρα η ακόλουθη αντίδραση :



Η τάση ενός δείγματος νερού να σχηματίσει ανθρακικό ασβέστιο μπορεί να προβλεφθεί ποιοτικά από την χρήση διαφόρων **Δεικτών Κορεσμού**. Περισσότερα για τους δείκτες αυτούς θα αναφερθούν στην επόμενη παράγραφο.

Αποθέσεις Θεικού Ασβεστίου ( $CaSO_4$ ) : Ο πιο κοινός τύπος θεικού ασβεστίου είναι ο γύψος ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), ο οποίος είναι 50 φορές πιο διαλυτός από το ανθρακικό ασβέστιο στους  $38^\circ C$  περίπου. Σε υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, η διαλυτότητα του θεικού ασβεστίου μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζονται οι διαλυτότητες του ανθρακικού ασβεστίου και του θεικού ασβεστίου για διάφορες θερμοκρασίες, απουσία χημικής επεξεργασίας.



Σχήμα 3.7. Διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου και του θειικού ασβεστίου, απουσία χημικής επεξεργασίας [3].

Η υψηλότερη διαλυτότητα του θειικού ασβεστίου σε σχέση με το ανθρακικό ασβέστιο αποτελεί την βάση για τον έλεγχο των επικαθίσεων με κατάλληλη ρύθμιση του  $pH$  του νερού με την προσθήκη θειικού οξέος  $H_2SO_4$ . Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και υδροχλωρικό οξύ  $HCl$ , όταν το νερό συμπλήρωσης περιέχει υψηλές τιμές συγκέντρωσης θειικών ιόντων  $SO_4^{2-}$  [1,6].

Αποθέσεις Φωσφορικού Ασβεστίου ( $Ca_3(PO_4)_2$ ) : Η θερμοκρασία, το  $pH$ , οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου και των ορθοφωσφορικών επηρεάζουν τον σχηματισμό του φωσφορικού ασβεστίου. Οι αποθέσεις του φωσφορικού ασβεστίου είναι περισσότερο θερμομονωτικές από τις αντίστοιχες του ανθρακικού ασβεστίου, προκαλώντας έτσι μεγαλύτερες απώλειες στην μεταφορά θερμότητας.

Αποθέσεις Οξειδίου του Πυριτίου ( $SiO_2$ ) : Η διαλυτότητα του οξειδίου του πυριτίου (silica) στο νερό είναι πολύ υψηλή, με αποτέλεσμα οι καθαρές αποθέσεις του οξειδίου του πυριτίου σε ψυκτικά κυκλώματα να είναι σπάνιες. Εμπειρικά έχει αναφερθεί ότι μια συγκέντρωση της τάξεως των 150 – 200 ppm  $SiO_2$  αποτελεί και την μέγιστη ποσότητα που μπορεί να υπάρχει σε διαλυτή μορφή στο νερό [14,6,10].

Το διαλυτό ωστόσο οξείδιο του πυριτίου αντιδρά εύκολα με κατιόντα προς τον σχηματισμό διαφόρων πολύπλοκων πυριτικών ενώσεων (silicates). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πυριτικό μαγνήσιο, το οποίο σχηματίζεται με μια διαδικασία δύο βημάτων : αρχικά, λαμβάνει χώρα καθίζηση υδροξειδίου του μαγνησίου  $Mg(OH)_2$ , το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με το διαλυτό και κολλοειδές οξείδιο του πυριτίου προς σχηματισμό αποθέσεων.

Μια άλλη κατηγορία αποθέσεων αποτελούν και οι αποθέσεις του σιδήρου (*iron based scales*). Ο σχηματισμός των οξειδίων  $FeO - Fe_3O_4 - Fe_2O_3$  κρίνεται επιθυμητός ως ένα βαθμό από πολλούς ειδικούς καθώς οι διαδοχικές στρώσεις των στρωμάτων των οξειδίων μπορούν να σχηματίσουν ένα συμπαγές και αδιαπέραστο προστατευτικό στρώμα [12,4]. Επομένως σε αρκετές περιπτώσεις λαμβάνεται μέριμνα ώστε η αντίδραση να κατευθύνεται προς τη δημιουργία και διατήρηση του προστατευτικού στρώματος. Πιο συγκεκριμένα η παρουσία υδραζίνης στο νερό ανάγει τον αιματίτη  $Fe_2O_3$  σε μαγνητίτη  $Fe_3O_4$ , που αποτελεί ένα πιο στοιχειομετρικό οξείδιο με λιγότερες «αταξίες» στο κρυσταλλικό του πλέγμα. Ο μαγνητίτης ωστόσο συναντάται σπάνια σε ψυκτικά κυκλώματα καθώς για τον σχηματισμό του απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες και αναερόβιες συνθήκες [6].

### 3.3.2. Δείκτες Εκτίμησης της Συμπεριφοράς του Νερού

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της διάβρωσης και των επικαθίσεων έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφοροι τρόποι και μέθοδοι επεξεργασίας του νερού. Ωστόσο κάθε ένας από αυτούς τους τρόπους επεξεργασίας θα πρέπει να έχει την βάση του στην εκτίμηση και στην πρόβλεψη των τάσεων του νερού για επικαθίσεις ή/ και για διάβρωση. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο η πρόβλεψη αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι ενός ολοκληρωμένου προγράμματος επεξεργασίας, παρέχοντας την δυνατότητα μιας βαθύτερης ματιάς στους μηχανισμούς που ευθύνονται για την εκδήλωση των προβλημάτων.

Επομένως, είναι φυσικό για χρόνια να καταβάλλονται προσπάθειες για την πρόβλεψη της τάσης του νερού ως προς τον σχηματισμό αποθέσεων. Οι περισσότερες από αυτές τις προσπάθειες αφορούν το ανθρακικό ασβέστιο και αποτελούν συναρτήσεις της θερμοκρασίας του νερού και της σύστασής του. Ο πιο γνωστός και ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι ο **Δείκτης Κορεσμού του Langelier**. Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια ποιοτική μέτρηση της τάσεως ενός δείγματος νερού να διαλύσει ή να αποθέσει ανθρακικό ασβέστιο.

#### Δείκτης Κορεσμού του Langelier (Langelier Saturation Index – LSI)

Αποτελεί μία από τις πρώτες μεθόδους για την πρόγνωση και την εκτίμηση των τάσεων ενός δείγματος νερού. Ο Langelier το 1936 υποστήριξε ότι η διαφορά μεταξύ της τιμής του  $pH_m$  που μετράται και της τιμής του  $pH_s$ , που αντιστοιχεί σε ένα διάλυμα κορεσμένο σε ανθρακικό ασβέστιο, μπορεί να ληφθεί σαν ένας αριθμητικός δείκτης των ιδιοτήτων του νερού. Επομένως :

$$LSI = pH_m - pH_s \quad (3-3)$$

Η τιμή του  $pH_s$  που αντιστοιχεί σε κατάσταση κορεσμού του ανθρακικού ασβεστίου στο διάλυμα, μπορεί να υπολογισθεί από την παρακάτω εξίσωση :

$$pH_s = 9.3 + A + B - (C + D) \quad (3-4)$$

Όπου :

$A = (\log[TDS] - 1) / 10$ , με  $[TDS]$  : Συγκέντρωση του συνόλου των διαλυμένων στερεών, (ppm)

$B = -13.12 \cdot \log T + 34.55$ , με  $T$  : Θερμοκρασία του νερού στο σημείο δειγματοληψίας του, ( $^{\circ}K$ )

$C = \log[Calcium \ Hardness]$ , με  $[Calcium \ Hardness]$ : Σκληρότητα του Ασβεστίου, δηλαδή η συγκέντρωση των ιόντων του, (ppm  $CaCO_3$ )

$D = \log[Alkalinity]$ , με  $[Alkalinity]$  : Αλκαλικότητα του νερού, δηλαδή το άθροισμα των ιόντων υδροξυλίου ( $OH^-$ ), των ανθρακικών ( $CO_3^{2-}$ ) και των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $HCO_3^-$ ), (ppm  $CaCO_3$ )

Η ερμηνεία των τιμών του Δείκτη  $LSI$ , παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2 :

**Πίνακας 3.2. Ερμηνεία των τιμών του Δείκτη  $LSI$**

$LSI < 0$	Δεν υπάρχει τάση για επικαθίσεις, το ανθρακικό ασβέστιο είναι διαλυτό
$LSI > 0$	Πιθανός σχηματισμός και απόθεση ανθρακικού ασβεστίου
$LSI = 0^*$	Το νερό είναι ουδέτερο και σταθερό

Σε πολλές περιπτώσεις ο Δείκτης Langelier χρησιμοποιείται και για την εκτίμηση της τάσης για διάβρωση που μπορεί να παρουσιάζει κάποιο νερό. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται η υπόθεση, πως όταν ένα νερό παρουσιάζει τάση για επικαθίσεις (καθαλατώσεις) ανθρακικού ασβεστίου, η διαβρωτική του τάση θα είναι

\* Εφόσον ο δείκτης του Langelier είναι ποιοτικό και όχι ποσοτικό χαρακτηριστικό της τάσης του νερού, η τιμή 0 δεν πρέπει να λαμβάνεται κυριολεκτικά. Εξάλλου στον υπολογισμό του δείκτη υπεισέρχονται και σφάλματα οργάνων και προσέγγισης. Επομένως, οι τιμές του δείκτη από  $-0.4$  έως  $+0.4$  θα πρέπει να θεωρούνται πρακτικά ίσες με το μηδέν [24].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....

αμελητέα και το αντίστροφο. Επομένως, το άλας του ανθρακικού ασβεστίου αποτελεί και την μόνη παράμετρο για την εκτίμηση της διαβρωτικότητας του νερού [20].

Δείκτης Σταθερότητας του Ryznar (Langelier Stability Index – RSI)

Ένας άλλος δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της τάσης του νερού για διαλυτοποίηση ή καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου, είναι ο Δείκτης Ryznar. Ο Δείκτης αυτός έχει εμπειρική βάση και θεωρείται ότι παρέχει και μια αρκετά καλή μέτρηση της ποσότητας των αποθέσεων που αναμένεται να σχηματισθούν, καθώς το άρθρο δημοσίευσης του περιλάμβανε και εξισώσεις για τον υπολογισμό των ποσοτήτων αυτών [10,24]. Σε αντίθεση λοιπόν με το Δείκτη του Langelier που αναφέρθηκε προηγουμένως, ο Δείκτης του Ryznar σε κατάλληλες εκφράσεις αποτελεί και ποσοτικό κριτήριο των επικαθίσεων του ανθρακικού ασβεστίου. Ο τύπος υπολογισμού του είναι ο εξής :

$$RSI = (2 \cdot pH_s) - pH_m \quad (3-5)$$

Για τιμές του Δείκτη αυτού κάτω από 6.0, το νερό τείνει προς τον σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικού ασβεστίου, ενώ για τιμές μεγαλύτερες του 6.0 η ένταση της διάβρωσης αυξάνεται αναλογικά [24,25].

Δείκτης Επικαθίσεων του Puckorius (Puckorius Scaling Index – PSI)

Κατά κανόνα, οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τον υπολογισμό των Δεικτών του Langelier και του Ryznar δεν λαμβάνουν υπόψη τους, δύο πολύ σημαντικές παράμετρους, την Ικανότητα Διατήρησης του  $pH$  του νερού (buffer intensity) και τη μέγιστη ποσότητα άλατος που μπορεί να σχηματιστεί από κάποιο φυσικό νερό σε συνθήκες ισορροπίας. Η ικανότητα Διατήρησης του  $pH$  αποτελεί μια ποσοτική μέτρηση της ποσότητας ενός οξέος ή μιας βάσεως που πρέπει να προστεθεί σε νερό για να μεταβληθεί η τιμή του  $pH$  του κατά μια μονάδα [10,24]. Ο τύπος υπολογισμού του Δείκτη είναι ο εξής :

$$PSI = (2 \cdot pH_s) - pH_{eq} \quad (3-6)$$

$$pH_{eq} = 1.465 \cdot \log[\text{Alkalinity}] + 4.54 \quad (3-7)$$

Δηλαδή η τιμή του  $pH_{eq}$  εκφράζει τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της ενεργότητας των κατιόντων υδρογόνου στην ισορροπία. Η κλίμακα τιμών του Δείκτη αυτού και της ερμηνείας τους συμπίπτει με τον αντίστοιχο του Δείκτη Ryznar που αναφέρθηκε προηγουμένως.

#### Δείκτης Διάβρωσης των Larson – Skold (Larson – Skold Corrosive Index – LSCI)

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι Δείκτες του Langelier και του Ryznar βασίζουν την πρόβλεψη της διαβρωτικής συμπεριφοράς του νερού στην μη ύπαρξη καθυαλώσεων ανθρακικού ασβεστίου. Οι Larson και Skold το 1958 ανέφεραν ότι η αλκαλικότητα του νερού παρουσιάζει μια τάση μείωσης του ρυθμού διάβρωσης, αποτελώντας ένα φυσικό αναστολέα που συμμετέχει στον σχηματισμό κάποιου προστατευτικού υμένα. Αντιθέτως, τα ιόντα του χλωρίου και τα θειικά που είναι σε διαλυμένη μορφή στο νερό αυξάνουν την διαβρωτικότητα του. Επομένως, με βάση τον λόγο των συγκεντρώσεων των δύο αυτών αντίθετων επιδράσεων στην διαβρωτικότητα του νερού, ορίζεται ο Δείκτης LSCI [10,24,20]:

$$LSCI = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[\text{Alkalinity}]} \quad (3-8)$$

Όλες οι συγκεντρώσεις της παραπάνω εξίσωσης αναφέρονται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/L). Όσο πιο χαμηλές τιμές παίρνει ο δείκτης, τόσο λιγότερο διαβρωτικό είναι το νερό. Πιο συγκεκριμένα για τιμές μικρότερες του 0.2 το νερό θεωρείται πρακτικά μη διαβρωτικό [10].

Πλην των δεικτών που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχει και μια πλειάδα άλλων, οι οποίοι ενσωματώνουν στις εξισώσεις υπολογισμού τις διάφορες παραμέτρους του νερού. Ωστόσο είναι κοινώς πλέον αποδεκτό ότι οι «απλοί» δείκτες, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα στην εκτίμηση της συμπεριφοράς του νερού αφού δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τους κρίσιμες παράμετρους. Τέτοιοι παράμετροι είναι η δοσολογία χημικών πρόσθετων στο νερό (π.χ. αναστολείς διάβρωσης και επικαθίσεων, διασπαστικές και μικροβιοκτόνες ουσίες), ο χρόνος δράσης αυτών των πρόσθετων στο ανακυκλοφορούμενο νερό καθώς και οι αλληλεπιδράσεις των διαλυμένων ιόντων μεταξύ τους με αποτέλεσμα τον σχηματισμό υδατοδιαλυτών ενώσεων.

Για την περίπτωση που ένα νερό έχει υποστεί χημική επεξεργασία, οι τιμές των δεικτών, πλην ίσως αυτή του Ryznar, δεν παρέχουν ασφαλείς πληροφορίες για την τάση του νερού για επικαθίσεις ή για διαβρώσεις. Επειδή ακριβώς με την προσθήκη διαφόρων αναστολέων επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου, επηρεάζεται σε μεγάλη κλίμακα η διαλυτότητα και ο βαθμός υπερκορεσμού του άλατος, οι τιμές των δεικτών χάνουν την ισχύ τους και οι τιμές που δίνουν χρήζουν προσεκτικής προσέγγισης στην ερμηνεία τους [10,13,3]. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η ύπαρξη μελετών που υπαγορεύουν ότι με την προσθήκη κοινών αναστολέων επικαθίσεων επιτυγχάνεται η παρεμπόδιση καθαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου για ένα βαθμό υπερκορεσμού έως και 150 περίπου. Οι συνθήκες που δίνουν μια τέτοια τιμή του βαθμού υπερκορεσμού αντιστοιχούν στον υπολογισμό μιας τιμής του Δείκτη Langelier ίσης με 2.5 για νερά με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειικά [21].

Πολύ σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των χημικών πρόσθετων και ιδιαίτερα των αντικαθαλατωτικών παίζει ο χρόνος επαγωγής *IT* που αναφέρθηκε στην § 3.3.1. Για την περίπτωση των ανοικτών κυκλωμάτων νερού ψύξης ο χρόνος αυτός ταυτίζεται με τον δείκτη του χρόνου συγκράτησης *HTI* (*Holding Time Index*) [16,20]. Ο δείκτης του χρόνου συγκράτησης αποτελεί έκφραση του χρόνου ημι - ζωής ενός χημικού που προστίθεται για επεξεργασία του νερού σε ανοικτά κυκλώματα με εξατμίσεις (open evaporative cooling systems). Μαθηματικά, ο δείκτης αυτός αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για την αραίωση ενός πρόσθετου χημικού στο 50% της αρχικής του συγκεντρώσεως. Πρόκειται για έναν πολύ σημαντικό παράγοντα στον καθορισμό ορίων ελέγχου σε συστήματα με



ασυνεχή τροφοδοσία χημικών πρόσθετων. Ο χρόνος ημι - ζωής ενός πύργου ψύξης (ανοικτό κύκλωμα), εξαρτάται κυρίως από την δυναμικότητα (τον ρυθμό ανακυκλοφορίας, *RR*) του κυκλώματος και από τον ρυθμό απομάστευσης (στρατσώνα, *BD*). Επομένως, ο δείκτης του χρόνου παραμονής *HTI* υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση [16 ]:

$$HTI = 0.693 \cdot RR/BD \quad (3-9)$$

Όπου :

0.693 : Σταθερά που υπολογίζεται από τις εξισώσεις του χρόνου ημι – ζωής (= ln 2.0)

Οι «απλοί» δείκτες αποτελούν μόνο θερμοδυναμικές εκτιμήσεις των τάσεων του νερού για διαβρώσεις και επικαθίσεις και αναφέρονται στην πρόβλεψη του δυναμικού που παρουσιάζουν τα νερά για επικαθίσεις, αν παρέμεναν στάσιμα και αδιατάρακτα για πολύ μεγάλα, πρακτικώς άπειρα χρονικά διαστήματα. Μια ερμηνεία των τιμών των «απλών» αυτών δεικτών με όρους κινητικής είναι ωστόσο εφικτή. Για παράδειγμα, δεν αναμένεται ο σχηματισμός επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου σε κυκλώματα που παρουσιάζουν μικρές θετικές τιμές του Δείκτη Langelier (< 1.0), καθώς η ωθούσα δύναμη για τον σχηματισμό τέτοιων επικαθίσεων θα ήταν πολύ μικρή. Επικαθίσεις θα αναμένονταν να παρατηρηθούν αν το ίδιο κύκλωμα κάτω από τις ίδιες συνθήκες παρουσίαζε μεγαλύτερη ωθούσα δύναμη της τάξεως των 2.8 μονάδων στην κλίμακα τιμών του Δείκτη Langelier [20].

Τέλος, ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα των «απλών» δεικτών κορεσμού αποτελεί ο υπολογισμός των ενεργοτήτων των ιόντων. Έτσι σαν ενεργότητα ενός ιόντος λαμβάνεται συνήθως η συγκέντρωση του ιόντος που προκύπτει από τη χημική ανάλυση του νερού. Ο υπολογισμός αυτός εμπεριέχει σοβαρά σφάλματα καθώς δεν λαμβάνει υπόψη του την αλληλεπίδραση των ιόντων μεταξύ τους για τον σχηματισμό διαφόρων υδατοδιαλυτών ενώσεων (ion pairs or bound ions). Τα θεικά ιόντα σε ένα διάλυμα νερού για παράδειγμα, σχηματίζουν πολύ γρήγορα υδατικό θεικό ασβέστιο, δεσμεύοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα μέρος των ιόντων του ασβεστίου, τα οποία καθίστανται μη διαθέσιμα για τον σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου. Επομένως η πραγματική τιμή της ενεργότητας των ιόντων, που διατίθενται για τον σχηματισμό

κάποιου συγκεκριμένου άλατος είναι μικρότερη της πραγματικής τιμής της συγκεντρώσεως τους που προκύπτει από την χημική ανάλυση του δείγματος του νερού. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι οι δείκτες κορεσμού να παρέχουν μια υπερεκτιμημένη εικόνα των τάσεων του νερού για επικαθίσεις [21].

Τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα εξαιτίας των σφαλμάτων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό των «απλών» δεικτών είναι δυνατό να ξεπεραστούν με την ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά (computerized ion association model) εμπεριέχουν στις εξισώσεις τους τις παραμέτρους της χημικής επεξεργασίας με την προσθήκη ουσιών στον όγκο του νερού (δοσολογία πρόσθετων), του χρόνου παραμονής του νερού στο κύκλωμα και τον χρόνο επαγωγής των διαφόρων αντιδράσεων καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαλυμένων ιόντων για το σχηματισμό διαφόρων (ένυδρων) ενώσεων. Τέλος, τα μοντέλα αυτά είναι σε θέση να δώσουν αποτελέσματα για μια ευρεία περιοχή παραμέτρων και χαρακτηριστικών του νερού και συνθηκών λειτουργίας του κυκλώματος [12,24].

### 3.3.3. Ρύπανση Επικαθίσεων (fouling)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί επικαθίσεις σε ένα κύκλωμα νερού ψύξης μπορεί να σχηματίζονται και από την συσσωμάτωση φερτών και αδιάλυτων στο νερό υλών, όπως η σκόνη, η άμμος, τα λάδια, η λάσπη, οι μικροοργανισμοί, κτλ. Για να εξεταστεί η πιθανότητα των υλών αυτών να συσσωματωθούν και να καθιζήσουν, θα πρέπει να γίνει μια αναφορά στον μηχανισμό σχηματισμού των αποθέσεων.

Οι φερτές αδιάλυτες στο νερό ύλες μπορεί να βρίσκονται σε **κολλοειδή** ή **αδρομερή** διασπορά. Μια κολλοειδής διασπορά αποτελείται από σωματίδια σχετικά μεγάλου μεγέθους σε σχέση με τα απλά μόρια. Το μέγεθος ωστόσο των σωματιδίων αυτών εξακολουθεί να είναι τόσο μικρό, ώστε να παρουσιάζουν αυτά τις ιδιότητες των κολλοειδών. Βασική και κύρια ιδιότητα των σωματιδίων που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί η ρόφηση φορτισμένων ιόντων ή σωματιδίων στην επιφάνεια τους με αποτέλεσμα την ύπαρξη ηλεκτρικού φορτίου.

Μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει και την πιθανότητα ή μη εμφάνισης αποθέσεων είναι μεταξύ άλλων και η ταχύτητα του νερού. Η παράμετρος αυτή αλληλεπιδρά και με τη φύση και το μέγεθος των αιωρούμενων στερεών.

Επομένως είναι φανερό ότι μεγάλα και βαριά (μεγάλο ειδικό βάρος) σωματίδια χρειάζονται μεγάλες ταχύτητες υγρής φάσης για την μετακίνηση τους, που στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν μπορεί να έχει το βιομηχανικό νερό, με αποτέλεσμα την απόθεσή τους στο κύκλωμα. Τα μικρότερα όμως σωματίδια (< 2 μm) μπορούν να μεταφέρονται από το βιομηχανικό νερό. Κατά την κίνηση τους αυτή όμως έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και αναπτύσσουν ελκτικές δυνάμεις London – Van der Waals, οπότε και συσσωματώνονται.

Τα διεσπαρμένα στερεά (π.χ. τα αδρομερή σε λεπτή διασπορά) παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή ενέργεια που τείνουν να μειώσουν με τον σχηματισμό σωματιδίων μεγαλύτερων διαστάσεων, δηλαδή με την συσσωμάτωσή τους. Η συσσωμάτωση των σωματιδίων μιας διασποράς που επιτυγχάνεται με την σύγκρουσή τους είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο στα ψυκτικά κυκλώματα καθώς οδηγεί στον σχηματισμό αποθέσεων. Το γεγονός της σύγκρουσης των αιωρούμενων σ' ένα κινούμενο μέσο στερεών είναι αναπόφευκτό. Ωστόσο, για τον έλεγχο της συσσωμάτωσης των σωματιδίων και του σχηματισμού των αποθέσεων είναι δυνατή η παρέμβαση μας, ούτως ώστε οι αναπόφευκτες μεταξύ των τεμαχιδίων συγκρούσεις να καταστούν ανενεργές, δηλαδή να μην οδηγούν στον σχηματισμό συσσωματώσεων.

Με την πρόσδοση λοιπόν ηλεκτρικών φορτίων στα σωματίδια, προσδίνουμε και ένα άλλο είδος δυνάμεων σ' αυτά, απωστικών αυτή την φορά (λόγω του ομώνυμου φορτίου των διπλοστοιβάδων), που δρουν ανταγωνιστικά προς τις ήδη υπάρχουσες ελκτικές. Για την υπερίσχυση των ελκτικών δυνάμεων πρέπει να ξεπεραστεί ένα μέγιστο ενέργειας, που όσο μεγαλύτερο είναι τόσο πιο σταθερή είναι η εικόνα της διασποράς[12]. Πριν την αναφορά των τρόπων και των μεθόδων χημικής επεξεργασίας των νερών για τον έλεγχο των καθαλατώσεων και των λοιπών αποθέσεων (*fouling*), θα γίνει μια σύντομη αναφορά στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα ψυκτικά κυκλώματα και στα προβλήματα που αυτή προκαλεί.

### 3.3.4. Η ανάπτυξη μικροοργανισμών στα κυκλώματα νερού ψύξης

Τα κυκλώματα νερού ψύξης και ιδιαίτερα τα ανοικτά κυκλώματα παρέχουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η μικροβιακή αυτή ανάπτυξη στις υγρές επιφάνειες οδηγεί στον σχηματισμό μεμβρανών και υμένων (*biofilms*). Αν

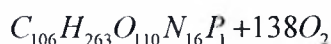
δεν ελεγχθούν κατάλληλα οι συνθήκες που επικρατούν, μπορούν να δημιουργηθούν βιολογικές επικαθίσεις (*biological fouling*), που επιδρούν άμεσα στην λειτουργία του εξοπλισμού. Κάτω από αυτές τις συνθήκες έχει διαπιστωθεί ότι ευνοούνται και οι τοπικοί ρυθμοί διάβρωσης [3,5,7]. Η ανάπτυξη τέτοιων προβλημάτων μπορεί να καταστεί ελεγχόμενη με την εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης ή/ και με την προσθήκη κατάλληλων βιοκτόνων [3].

Οι μικροοργανισμοί είναι διασκορπισμένοι παντού μέσα στη φύση στους υδάτινους φορείς, στο έδαφος και στους ζώντες οργανισμούς. Η παρουσία τους έχει εξαιρετική σημασία, γιατί διατηρούν τη φυσική ισορροπία των κύκλων ζωής. Όταν γίνεται λόγος για διαφορετική ταχύτητα παραγωγής οργανικής ύλης και διαφορετική ταχύτητα εκποής, τότε γίνεται λόγος για «μόλυνση του νερού». Έτσι όταν η ταχύτητα παραγωγής είναι μεγαλύτερη από αυτή της εκποής, τότε περισσεύουν μικροφύκη, που στο βιομηχανικό νερό, εκτός από τα προβλήματα εμφράξεων, καταστρέφουν και τη φυσική ισορροπία του αποδέκτη. Στην αντίθετη περίπτωση που η ταχύτητα εκποής είναι μεγαλύτερη αυτής της παραγωγής, επικρατεί περίσσεια των κατιόντων υδρογόνου, που καθιστούν το βιομηχανικό νερό διαβρωτικό, ενώ ταυτόχρονα καταναλίσκεται το διαλυμένο οξυγόνο, πράγμα που δημιουργεί συνθήκες ασφυξίας για την ενάλια ζωή, με αποτέλεσμα το θάνατο χρήσιμων ειδών (π.χ. ψαριών, οστρακοειδών κλπ.). Οι δράσεις αυτές συνοψίζονται στην ακόλουθη αντίδραση παραγωγής των μικροφυκών στο νερό :



(+ ιχνοστοιχεία + ενέργεια)

φωτοσύνθεση P ↓ ↑ εκποή R



πρωτόπλασμα μικροφυκών

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί που απαντώνται σε κυκλώματα νερού ψύξης είναι τα βακτήρια, οι ευρωτομύκητες και τα μικροφύκη [12].

Βακτήρια : Τα βακτήρια ή βακτηρίδια υπάγονται στην ομάδα των μικροοργανισμών που λέγονται *σχιζομύκητες*, γιατί τυπικά αναπαράγονται με διχοτόμηση, δηλαδή με σχίσσιμο του κυττάρου τους στο μέσο. Πρόκειται για μικροσκοπικούς, μονοκύτταρους φυτικούς οργανισμούς, χωρίς χλωροφύλλη. Υπάρχουν βακτήρια, που σχηματίζουν σπόρια και τότε λέγονται *βάκιλλοι*, ενώ τα άσπορα λέγονται *βακτηρίδια*.

Οι ευρωτομύκητες και τα μικροφύκη υπάγονται στην κατηγορία των *θαλλοφύτων*, όπως λέγονται ατελή φυτά χωρίς ρίζες, κορμούς και φύλλα, παρά μόνο με κλάδους.

Ευρωτομύκητες : Οι ευρωτομύκητες αποτελούνται από νηματοειδή κύτταρα μεγαλύτερα από τα βακτηρίδια, χωρίς χλωροφύλλη. Η αναπαραγωγή τους γίνεται με σπόρια που βλασταίνουν. Για την ανάπτυξη τους απαιτούν ατμοσφαιρικό οξυγόνο και γι' αυτό γενικά δεν αναπτύσσονται κάτω από το νερό.

Μικροφύκη : Τα μικροφύκη παράγουν την τροφή τους από τον αέρα, το ηλιακό φως και το νερό με τη βοήθεια της χλωροφύλλης και γι' αυτό δεν μπορούν να υπάρξουν αν λείπει κάποιο απ' αυτά τα συστατικά. Μπορεί να είναι μονοκύτταρες ή πολυκύτταρες. Αναπτύσσονται επάνω σε οποιαδήποτε υγρή επιφάνεια εκτεθειμένη στον ήλιο και τον αέρα. Τα επικρατέστερα είδη μικροφυκών στο νερό είναι τα διάτομα, τα πράσινα και τα κυανοπράσινα μικροφύκη.

### **3.4. Αντιμετώπιση Προβλημάτων Επικαθίσεων στα Κυκλώματα Νερού Ψύξης**

Όπως και στην περίπτωση της διάβρωσης, έτσι και στις επικαθίσεις, η συνεχής παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων είναι ζωτικής σημασίας, συν τοις άλλοις και για την αξιολόγηση του προγράμματος επεξεργασίας του νερού. Για τον ικανοποιητικό έλεγχο του σχηματισμού των επικαθίσεων πλην του υπολογισμού των διαφόρων δεικτών που αναφέρθηκαν στην § 3.3.3, τάσεις για επικαθίσεις του νερού

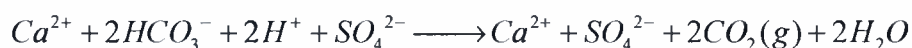
μπορούν να παρατηρηθούν και από κουπόνια (μάρτυρες) διάβρωσης, ειδικά όταν η τοποθέτηση των τελευταίων γίνεται σε σημεία του εξοπλισμού θερμικής εναλλαγής (π.χ. εναλλάκτες θερμότητας)[4]. Επιπλέον, η σύγκριση και πιθανή απόκλιση μεταξύ των τιμών των συγκεντρώσεων διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων (π.χ. ολική σκληρότητα, σκληρότητα ασβεστίου, TDS) στο νερό της στρατσώνας και στο νερό συμπλήρωσης μπορεί να υποδεικνύει την ύπαρξη καθαλατώσεων και γενικότερα αποθέσεων[3].

Για τα ψυκτικά νερά ανακυκλοφορίας, τα διατιθέμενα μέσα για τον έλεγχο των καθαλατώσεων και των αποθέσεων γενικότερα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής :

1. Απομάστευση (στρατσώνα – Blowdown)
2. Προσθήκη Οξέος
3. Προσθήκη Αντικαθαλατωτικών και διασπαρτικών
4. Διήθηση

Η απομάστευση (Blowdown) όπως αναφέρθηκε στην § 2.2.2 είναι η απομάκρυνση ενός μικρού τμήματος του ψυκτικού νερού, που φυσικά συμπληρώνεται με φρέσκο νερό, κι έτσι τηρείται μια επιθυμητή συγκέντρωση ιόντων ή με άλλα λόγια ένας επιθυμητός βαθμός υπερκορεσμού.

Μια «παραδοσιακή» μέθοδος για τον έλεγχο των επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου είναι η αποτελεσματική ελάττωση της αλκαλικότητας του νερού με την προσθήκη οξέος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται συνήθως θειικό οξύ για την δημιουργία συνθηκών που δεν ευνοούν τις επικαθίσεις, σύμφωνα με την αντίδραση :



Με βάση την παραπάνω δράση το όξινο ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε πτητικό διοξείδιο του άνθρακα και σε θειικό ασβέστιο. Όπως είδαμε στην § 3.3.1 το θειικό ασβέστιο είναι περισσότερο διαλυτό σε σχέση με το ανθρακικό ασβέστιο. Οι κύκλοι συμπύκνωσης καθορίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο από τη διαλυτότητα του θειικού ασβεστίου, επιτρέποντας έτσι την λειτουργία σε μεγαλύτερους κύκλους

συμπύκνωσης και την εξοικονόμηση νερού από τις απομαστεύσεις. Η μέθοδος ωστόσο αυτή παρουσιάζει κάποιους σοβαρούς περιορισμούς. Για νερά συμπλήρωσης πλούσια σε θειικά ιόντα (πιθανός κορεσμός σε θειικό ασβέστιο) κρίνεται επιτακτική η προσθήκη υδροχλωρικού οξέος αντί του θειικού για την μείωση της αλκαλικότητας. Τα χλωριόντα ωστόσο μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα διάβρωσης επειδή διεισδύουν στα προστατευτικά στρώματα των οξειδίων, δημιουργώντας τοπικές ανόδους. Επίσης με την προσθήκη οξέος μειώνεται το  $pH$  του νερού και αυξάνεται το διαβρωτικό ιόν του κατιόντος υδρογόνου (βλ. § 3.1.2 Διάβρωση οξέος). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι τα θειικά ιόντα μαζί με τα χλωριόντα παρουσιάζουν παρόμοια διαβρωτική δράση. Τέλος, κάποιοι περιορισμοί που αφορούν την εφαρμογή της μεθόδου έχουν να κάνουν με την ασφάλεια της εργασίας και την λήψη των απαραίτητων Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) [10,1,6].

Σαν αντικαθαλατωτικά (αναστολείς επικαθίσεων) για τα ψυκτικά νερά ανακυκλοφορίας χρησιμοποιούνται τόσο τα **πολυφωσφορικά** όσο και οι **φωσφορικοί εστέρες** καθώς και τα **οργανικά πολυμερή**. Τα πολυφωσφορικά και οι φωσφορικοί εστέρες αποτελούν και αντιδιαβρωτικούς αναστολείς, όπως αναφέρθηκε στην § 3.2. Αποφασιστικός παράγοντας για την εκλογή επομένως των αντικαθαλατωτικών αποτελεί ο συνδυασμός τους με τα χρησιμοποιούμενα αντιδιαβρωτικά[12]. Επιπλέον παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι ο τρόπος καταπολέμησης των μικροοργανισμών καθώς και οι απαιτήσεις που θέτονται στα απόνερα.

Ειδικότερα για την καταπολέμηση των μικροοργανισμών, πρέπει να αναφερθεί ότι τα αντικαθαλατωτικά είναι βιοαποικοδομήσιμα, με αποτέλεσμα η παρουσία τους στο νερό να αυξάνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Για το λόγο αυτό συνήθως προτιμώνται μικρές δόσεις αντικαθαλατωτικών, ώστε η μικροβιακή επιβάρυνση του ψυκτικού νερού να είναι η μικρότερη δυνατή. Η συνδυασμένη δράση αντικαθαλατωτικού – μικροβιοκτόνου προκύπτει από δοκιμή στην πράξη [10,12].

Ο τρόπος δράσης των αντικαθαλατωτικών είναι το δίχως άλλο ένα πολύπλοκο θέμα. Μια πλέον λογική εξήγηση της δράσης τους είναι ότι οι υπό – στοιχειομετρικές ποσότητες (περίπτωση *αναστολέων καταωφλίου*) των χημικών παρουσιάζουν χαρακτηριστική επίδραση στους ρυθμούς ανάπτυξης των κρυστάλλων. Επιτυγχάνεται έτσι σταθεροποίηση των υπέρκορων διαλυμάτων λόγω της προσρόφησης των μορίων

του αναστολέα πάνω στους κρυσταλλικούς πυρήνες ή πάνω στις περιοχές ανάπτυξης των κρυστάλλων. Τα χημικά αυτά αποτελούν οι *αναστολείς κατωφλίου* και οι *χηλικές ενώσεις*. Παραδείγματα *αναστολέων κατωφλίου* είναι οι ακόλουθες πολυμερικές ενώσεις :

- πολυακρυλικά
- πολυμηλεϊνικό οξύ
- φωσφονικό οξύ
- μεθακρυλικά

και τα παράγωγά τους. Έχει προσδιοριστεί πειραματικά ότι το βέλτιστο μοριακό βάρος των πολυμερικών αυτών υλικών για χρήση στην επεξεργασία νερού ψύξης κυμαίνεται μεταξύ 1000 και 10000. Το τελικό πρόσθετο στο νερό ψύξης αποτελεί συνήθως συνδυασμό αρκετών αναστολέων. Ακόμη και αν ο σχηματισμός επικαθίσεων δεν αποτραπεί ολοκληρωτικά με τη χρήση των αναστολέων, και μόνο η παρουσία τους μπορεί να αλλάξει τα φυσικά χαρακτηριστικά των επικαθίσεων και να τις κάνει λιγότερο συμπαγείς[1].

Οι *χηλικές ενώσεις* (π.χ. το *EDTA*, ) σχηματίζουν σύμπλοκα με τα άλατα που πρόκειται να σχηματίσουν τις κρυσταλλικές επικαθίσεις και παρεμποδίζουν με αυτό τον τρόπο τη δημιουργία επικαθίσεων. Η συγκέντρωση των ενώσεων αυτών στο διάλυμα πρέπει να βρίσκεται σε στοιχειομετρική αναλογία με τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων[1].

Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης που προκαλείται σε ψυκτικά νερά λόγω επικαθίσεων διαφόρων φερτών υλών (*particulate fouling*) συνηθίζεται η χρησιμοποίηση των *διασπαρτικών*. Τα διασπαρτικά διακρίνονται σε *ιονιζόμενες* και *μη ιονιζόμενες* ενώσεις. Οι *μη ιονιζόμενες* ενώσεις ακινητοποιούν ένα στρώμα νερού γύρω από τα σωματίδια, που εμποδίζει την στενή επαφή τους.

Οι *ιονιζόμενες* ενώσεις αυξάνουν το ηλεκτρικό φορτίο των αιωρούμενων σωματιδίων μιας λεπτής διασποράς, με αποτέλεσμα την αύξηση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων άπωσης και του ενεργειακού φράγματος που απαιτείται για την συσσωμάτωση και καθίζηση τους. Συχνά τέλος, χρησιμοποιείται και η συνεχής διήθηση μέρους του ανακυκλοφορούμενου νερού ή/ και ο καθαρισμός του με την εγκατάσταση φυγοκεντρικών διαχωριστών (βλ. § 4.4.3) [1,3,6,12,4].



### 3.4.1. Τρόποι καταπολέμησης των μικροοργανισμών

Εξαιτίας της ταχύτητας με την οποία αναπτύσσονται τα μικρόβια στα ψυκτικά κυκλώματα, η συνεχής παρακολούθηση τους κρίνεται αναγκαία για την αναγνώριση των προβλημάτων. Με τη χρήση ελεγκτικών κουπονιών στους εναλλάκτες θερμότητας μπορεί να καταστεί δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των ψυκτικών κυκλωμάτων χωρίς την διακοπή της λειτουργίας τους[3].

Οι πύργοι ψύξης στα ανοικτά κυκλώματα προσφέρουν ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών καθώς λειτουργούν σε θερμοκρασίες από 25 έως 50 °C, παρουσία ηλιακού φωτός, οξυγόνου (αέρα) και θρεπτικών ουσιών όπως ο φώσφορος, το άζωτο, τα θειικά και το διοξείδιο του άνθρακα. Δεν αποτελεί έκπληξη ότι τα μικροφύκη αναπτύσσονται με αφθονία στο ηλιακό φως, ενώ οι επικαθίσεις βακτηρίων (*slime deposits*) αναπτύσσονται σε εναλλάκτες θερμότητας[10].

Τα στρώματα των μικροοργανισμών (*biofilms*) που σχηματίζονται στις σωληνώσεις και σε διάφορα μέρη του εξοπλισμού αποτελούν ιδανικές συνθήκες για τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών. Τα στρώματα αυτά προκαλούν μείωση στους συνολικούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας στους εναλλάκτες, ευνοώντας την δράση των αερόβιων θειοβακτηριδίων και των αναερόβιων αναγωγικών θειικών βακτηριδίων, που παράγουν οξέα και προκαλούν σοβαρά προβλήματα διάβρωσης (*Microbe Induced Corrosion* και *Διάβρωση κάτω από επικαθίσεις*) του χάλυβα [10,5]. Για την εξουδετέρωση των μικροοργανισμών ή για την αναστολή της ανάπτυξής τους χρησιμοποιούνται οξειδωτικά και μη βιοκτόνα.

Τα πιο κοινά οξειδωτικά βιοκτόνα είναι το **χλώριο**, το **υποχλωριώδες οξύ**, το **διοξείδιο του χλωρίου** και τα **άλατα του βρωμίου**. Η τροφοδοσία αυτών των πρόσθετων στο νερό γίνεται με ημι - συνεχή τρόπο σε δόσεις των μερικών ppm στις δεξαμενές των πύργων ψύξης. Πιο αποτελεσματική κρίνεται η νυχτερινή τροφοδοσία τους, όταν ο ήλιος δεν μπορεί να προκαλέσει την διάσπαση τους [10].

Κάποια από τα πιο κοινά μη οξειδωτικά βιοκτόνα αποτελούν οι ισοθειαζολίνες, τα άλατα του αμμωνίου, οι οργανοθειούχες ενώσεις, η γλουταραλδεΐδη κ.α.[12].

#### **4. Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης και Ψυκτικά Κυκλώματα της SOVEL A.E.**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η περιγραφή των εγκαταστάσεων που αφορούν την επεξεργασία του νερού συμπλήρωσης, πριν την τροφοδοσία του στα κυκλώματα και διενεργούνται τα ισοζύγια του νερού με βάση τα αρχεία που τηρούνται από τις τιμές των υδρομετρητών. Τα αρχεία αυτά αναφέρονται σε ένα βάθος τριών χρόνων λειτουργίας (2004 – 2006). Ακολούθως περιγράφονται σε γενικές γραμμές τα κυκλώματα του νερού ψύξης του Χαλυβουργείου και εφαρμόζονται και γι' αυτήν την περίπτωση τα ισοζύγια μάζας (νερό συμπλήρωσης – απώλειες - απομαστεύσεις) για το έτος λειτουργίας 2006. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας Danieli.

Το σύνολο των απαιτήσεων σε νερό του συγκροτήματος των εγκαταστάσεων της εταιρείας καλύφθηκε για το έτος 2006 από τέσσερις γεωτρήσεις που βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα των εγκαταστάσεων. Εκτός από τις απαιτήσεις σε ψυκτικό νερό των διαφόρων τμημάτων (Χαλυβουργείο, Ελασματοουργείο και Δομικό Πλέγμα), η παροχή των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για την κάλυψη και άλλων υδάτινων αναγκών, όπως :

- Αναγεννήσεις του απαλκαλιωτή και των αποσκληρυντών για την επεξεργασία του νερού του Χαλυβουργείου και του Ελασματοουργείου
- Δίκτυο υδατόπυργου, που τροφοδοτεί τα εξής επιμέρους δίκτυα :
  - Δίκτυο πόσιμου νερού του εργοστασίου
  - Δίκτυο άρδευσης του εργοστασίου
  - Διαβροχή σκουριάς του χαλυβουργείου
  - Λοιπές ανάγκες του εργοστασίου σε νερό

#### 4.1. Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης

Το νερό συμπλήρωσης τροφοδοτείται στα κυκλώματα ψύξης του χαλυβουργείου από τις πομώνες που υπάρχουν στο χώρο των εγκαταστάσεων της εταιρείας. Η μέση τιμή της παροχής των πομωनों φαίνεται στον πίνακα 4.1 :

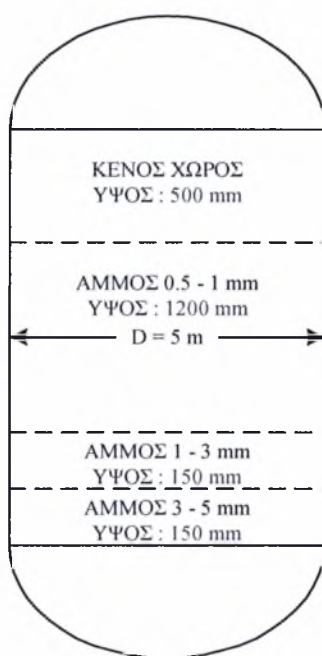
**Πίνακας 4.1. Παροχή Φρέσκου Νερού από τις τέσσερις Πομώνες για το έτος 2006.**

	Διάρκεια (h / day)	Παροχή νερού (m <sup>3</sup> /h)
Πομώνα Ε1	24	40
Πομώνα Ε2	24	15
Πομώνα S1	24	35
Πομώνα S3	24	45
Σύνολο Παροχής Πομωनों		135

Αξίζει να σημειωθεί πως μιλάμε για μέση τιμή στον παραπάνω πίνακα, γιατί οι υφιστάμενες γεωτρήσεις παρουσιάζουν κατά χρονικές περιόδους μεγάλες αστάθειες ως προς τις ποσότητες φρέσκου νερού που παρέχουν προς τα κυκλώματα.

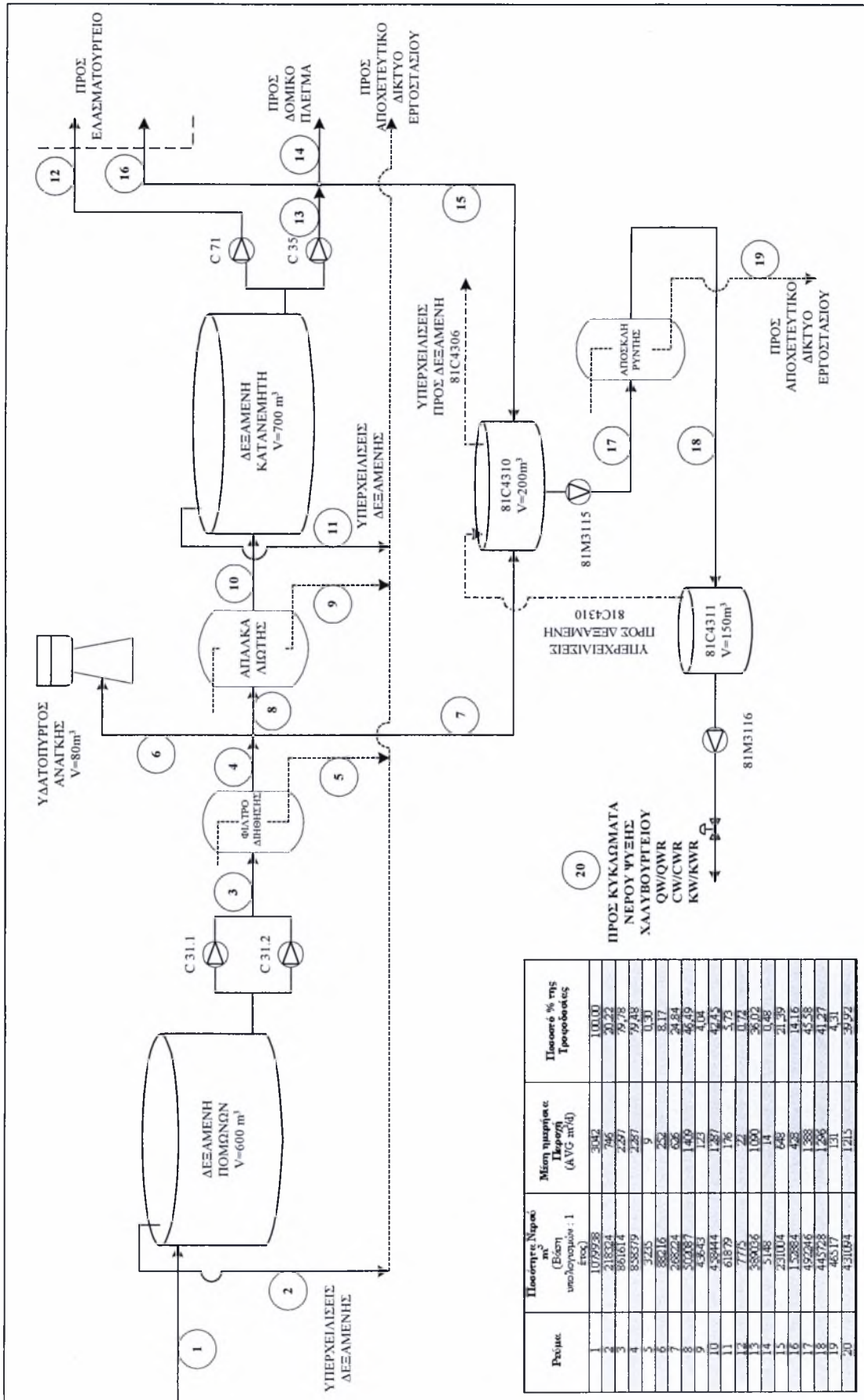
Το σύνολο λοιπόν του φρέσκου νερού συμπλήρωσης των γεωτρήσεων εισέρχεται στην δεξαμενή των πομωनों, συνολικού όγκου 600 m<sup>3</sup> (Σχ. 4.1 – ρεύμα 1). Εκτιμάται ότι κάποιο ποσοστό του ρεύματος τροφοδοσίας χάνεται λόγω υπερχειλίσεων (ρεύμα 2), κατευθυνόμενο προς το αποχετευτικό δίκτυο των εγκαταστάσεων. Στη συνέχεια με τη βοήθεια δύο αντλιών (C31, Σχ. 4.1) παροχής Q = 200 m<sup>3</sup>/h η καθεμιά, το νερό συμπλήρωσης εισέρχεται στο **φίλτρο άμμου** (ρεύμα 3). Στα φίλτρα άμμου το νερό διέρχεται διαμέσου μιας κλίνης σωματιδίων άμμου, των μέγεθος των οποίων ποικίλει σύμφωνα με το Σχ. 4.2. Επιτυγχάνεται κατά αυτόν τον τρόπο συγκράτηση ενός μεγάλου ποσοστού των αιωρούμενων σωματιδίων και προσμίξεων του φρέσκου νερού συμπλήρωσης. Στατιστικά ένα αιωρούμενο σωματίδιο του νερού είναι δυνατό να διεισδύσει σε αρκετό βάθος μέσα στην κλίνη. Όταν όμως περάσει αρκετά κοντά από την επιφάνεια των σωματιδίων της κλίνης (άμμος) και συγκεκριμένα σε απόσταση που έχουν εμβέλεια οι επιφανειακές δυνάμεις (<0.1 μm), τότε αυτά συγκρατούνται στην επιφάνεια [2]. Μετά από ορισμένες ώρες λειτουργίας, επειδή είτε αυξάνεται υπέρμετρα η πτώση πίεσης, είτε ελαττώνεται

υπέρμετρα η παροχή διηθημένου νερού, απαιτείται ο καθαρισμός της κλίνης από τα συγκρατηθέντα σωματίδια. Αυτό γίνεται με την έκπλυση της κλίνης χρησιμοποιώντας ξανά ένα ποσοστό επί του ρεύματος τροφοδοσίας σε συνδυασμό με ρεύμα αέρα, κατά αντίστροφη φορά (από την έξοδο προς την είσοδο της κλίνης), έτσι ώστε να προκαλείται ρευστοαιώρηση της κλίνης και παρασυρμός των συγκρατηθέντων σωματιδίων[2,8,9]. Τα νερά της έκπλυσης που περιέχουν και τα παρασυρμένα σωματίδια οδηγούνται στο αποχετευτικό δίκτυο των εγκαταστάσεων (ρεύμα 5).



Σχήμα 4.2. Φίλτρο Διήθησης

Το ρεύμα του νερού συμπλήρωσης που εξέρχεται από το φίλτρο (ρεύμα 4) διακλαδίζεται σε τρία ρεύματα : ένα μέρος οδηγείται προς τον υδατόπυργο (ρεύμα 6), ένα άλλο αποτελεί την τροφοδοσία του **απαλκαλιωτή** (ρεύμα 8) και ένα τρίτο (ρεύμα 7) διοχετεύεται απ' ευθείας στην δεξαμενή του χαλυβουργείου 81C4310, συνολικής χωρητικότητας 200 m<sup>3</sup>. Το δίκτυο του υδατόπυργου, όπως αναφέρθηκε, τροφοδοτεί το δίκτυο πόσιμου νερού του εργοστασίου και το νερό πυρόσβεσης, το δίκτυο άρδευσης του εργοστασίου, ενώ χρησιμοποιείται και για την διαβροχή της σκουριάς από τον κλίβανο του χαλυβουργείου. Η δεξαμενή του υδατόπυργου βρίσκεται σε ύψος 20 m από το έδαφος και ο συνολικός της όγκος ανέρχεται σε 80 m<sup>3</sup>.



Ρομα	Ποσότητα Νερού (Βάση υπολογισμών : 1 Έτος)	Μέση ημερήσια Τιμολογή (AVG m <sup>3</sup> /d)	Ποσοστό % της Προβλεπόμενης
1	1079928	3042	100,00
2	215984	746	20,22
3	861614	2287	79,78
4	858379	2287	79,48
5	3235	9	0,31
6	88216	254	8,17
7	268224	626	24,84
8	300887	469	46,49
9	43643	129	4,04
10	45844	1287	47,45
11	61879	176	5,73
12	7775	22	0,74
13	58006	1090	36,07
14	5148	14	0,48
15	231004	648	21,39
16	15884	428	14,16
17	492946	1388	45,38
18	445728	1296	41,27
19	46517	131	4,31
20	431094	1215	39,92

Σχήμα 4.1. Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης της εταιρείας SOVEL A.E.

#### 4.1.1. Διάταξη Απαλκαλίωσης Νερού Συμπλήρωσης

Η διάταξη του **απαλκαλιωτή** αποτελείται από το **δοχείο του φίλτρου απαλκαλίωσης** και από τη διάταξη αναγέννησης. Η διάταξη αναγέννησης αποτελείται με τη σειρά της από το **δοχείο αποθήκευσης** του πυκνού θειικού οξέος και το **δοχείο ημερήσιας κατανάλωσης**. Η αναγέννηση της ρητίνης του απαλκαλιωτή περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

- Αντίστροφη πλύση της ρητίνης
- Αναγέννηση της ρητίνης με δ/μα πυκνού θειικού οξέος 96 %
- Αργό ξέπλυμα
- Γρήγορο ξέπλυμα

Τα όξινα απόνερα αναγέννησης (ρεύμα 9) πρέπει να εξουδετερωθούν πριν αυτά διατεθούν στο αποχετευτικό δίκτυο και τελικά στον αποδέκτη. Το pH των απόνερων, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να κυμαίνεται στην περιοχή 6.5 – 8.5. Για τον σκοπό αυτό στην εγκατάσταση υπάρχει μια υπόγεια δεξαμενή εξουδετέρωσης, κατασκευασμένη από μπετόν, διαστάσεων 5×2×2 m περίπου και συνολικού όγκου 20 m<sup>3</sup>. Στην δεξαμενή αυτή οδηγούνται όλα τα απόνερα του απαλκαλιωτή, που εξουδετερώνονται με αυτόματη προσθήκη διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου, η προσθήκη του οποίου πραγματοποιείται με την βοήθεια δοσιμετρικής αντλίας.

Κατά την κανονική λειτουργία του απαλκαλιωτή και αφού το νερό εξέλθει από το δοχείο του φίλτρου απαλκαλίωσης, οδηγείται στον εκγυμνωτή (απαεριωτή) διοξειδίου του άνθρακα πριν καταλήξει στην δεξαμενή του **κατανεμητή**. Στον εκγυμνωτή (απαεριωτή) απομακρύνεται με την βοήθεια ρεύματος αέρα το διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από την διάσπαση της αλκαλικότητας του νερού. Για τον λόγο αυτό όταν ο απαλκαλιωτής είναι σε λειτουργία πρέπει να είναι σε λειτουργία και ο φυσητήρας αέρα του εκγυμνωτή διοξειδίου του άνθρακα. Σε αντίθετη περίπτωση δεν απομακρύνεται το αέριο του διοξειδίου του άνθρακα με αποτέλεσμα η αλκαλικότητα να δημιουργείται ξανά μέσα στην δεξαμενή του κατανεμητή.



Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της διάταξης απαλκαλίωσης και των διαφόρων δοχείων που περιλαμβάνει παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 :

**Πίνακας 4.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά εγκατάστασης Απαλκαλίωσης SOVEL A.E.**

Παροχή	25 m <sup>3</sup> /h min 90 - 130 m <sup>3</sup> /h max
Κύκλος Λειτουργίας	1300 m <sup>3</sup> περίπου
Πίεση Λειτουργίας	5 bar
Κατανάλωση οξέος ανά αναγέννηση	300 Kg (166 l) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 96 %
Ρητίνη	Ασθενώς όξινη, κατιονικής ανταλλαγής, Relite CC
Λειτουργική ομάδα	-COOH (καρβοξυλική)
<b>Δοχείο φίλτρου απαλκαλίωσης</b>	
Διάμετρος	2000 mm
Κυλινδρικό ύψος	2500 mm
Ολικό Ύψος	≈ 3500 mm
Κενό ύψος	1160 mm
Ποσότητα Ρητίνης	4200 l
<b>Διάταξη Αναγέννησης</b>	
<b>Δοχείο αποθήκευσης H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	
Διάμετρος	1600 mm
Κυλινδρικό ύψος	3500 mm
Ονομαστική χωρητικότητα	7 m <sup>3</sup> (12.5 tn) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 96 %
<b>Δοχείο ημερήσιας κατανάλωσης</b>	
Διάμετρος	600 mm
Κυλινδρικό ύψος	1000 mm
Ονομαστική χωρητικότητα	280 l (500 Kg) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 96 %

Με την επεξεργασία του νερού συμπλήρωσης κατά την απαλκαλίωση του επιτυγχάνεται μια μείωση της αλκαλικότητας του κατά 86 % περίπου, ενώ παράλληλα σε αρκετά μικρότερο ποσοστό επιτυγχάνεται και μείωση της σκληρότητας του.

Μετά την διήθηση και την απαλκαλίωση του, το νερό συμπλήρωσης εισέρχεται στην δεξαμενή του κατανεμητή, συνολικού όγκου 700 m<sup>3</sup> (ρεύμα 10). Στην δεξαμενή αυτή προστίθεται διάλυμα NaOH για τον έλεγχο και την ρύθμιση του pH του νερού πριν την κατανομή του στα διάφορα τμήματα του εργοστασίου (Ελασματοουργείο, Χαλυβουργείο και Δομικό Πλέγμα). Όπως και στην περίπτωση της



δεξαμενής των πομωμών, ένα ποσοστό του νερού που εισέρχεται στην δεξαμενή του κατανεμητή χάνεται προς το αποχετευτικό κανάλι του εργοστασίου, λόγω υπερχειλίσης (ρεύμα 11).

Η δεξαμενή του κατανεμητή τροφοδοτεί τον αποσκληρυντή (ρεύμα 12) του ελασματοουργείου, τα ψυκτικά κυκλώματα του (ρεύμα 16), το δομικό πλέγμα (ρεύμα 14), ενώ μέρος του απαλκαλιωμένου νερού που περιέχει τροφοδοτεί την δεξαμενή 81C4310 του χαλυβουργείου (ρεύμα 15). Επομένως, το περιεχόμενο της δεξαμενής αυτής αποτελείται από μίγμα νερού πομωμών (ρεύμα 7) και νερού απαλκαλιωμένου (ρεύμα 15). Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τυχόν υπερχειλίσεις της δεξαμενής αυτής οδηγούνται στην δεξαμενή 81C4306, που εξασφαλίζει την ανακυκλοφορία και συμπλήρωση του νερού του ανοικτού κυκλώματος άμεσης επαφής της χύτευσης του χαλυβουργείου KW/KWR. Σε αντίθεση λοιπόν με τις δεξαμενές των πομωμών και του κατανεμητή, τυχόν υπερχειλίσεις της δεξαμενής του χαλυβουργείου 81C4310 δεν οδηγούνται στο αποχετευτικό κανάλι της εγκατάστασης και δεν λογίζονται ως απώλειες νερού.

Πριν την τελική τροφοδοσία του νερού συμπλήρωσης στα κυκλώματα νερού ψύξης του χαλυβουργείου, το νερό της δεξαμενής 81C4310 εισέρχεται στον αποσκληρυντή του χαλυβουργείου (ρεύμα 17).

#### 4.1.2. Διάταξη Αποσκλήρυνσης Νερού Συμπλήρωσης Χαλυβουργείου

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της διάταξης και των δοχείων φίλτρων αποσκλήρυνσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3 :

Πίνακας 4.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διάταξης Αποσκλήρυνσης Νερού Χαλυβουργείου

Παροχή	120 m <sup>3</sup> /h max
Κύκλος Λειτουργίας	550 m <sup>3</sup>
Πίεση Λειτουργίας	6 bar max
<b>Δοχείο φίλτρου αποσκλήρυνσης</b>	
Διάμετρος	1800 mm
Κυλινδρικό ύψος	2000 mm
Υλικό Κατασκευής	RSt 37-2
Πίεση Λειτουργίας	6 bar
Ρητίνη	Ισχυρά κατιονική, Relite CF
Ποσότητα Ρητίνης	3000 l

Οι αποσκληρυντές του χαλυβουργείου και του ελασματοουργείου είναι δίδυμοι. Αυτό σημαίνει ότι όταν συμπληρωθεί ο κύκλος λειτουργίας, ο προγραμματιστής σταματά αυτόματα τη λειτουργία του πρώτου αποσκληρυντή και ξεκινά το πρόγραμμα αναγέννησης, ενώ ταυτόχρονα τίθεται σε λειτουργία ο δεύτερος αποσκληρυντής.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την αναγέννηση της ρητίνης του αποσκληρυντή απομακρύνεται στο αποχετευτικό δίκτυο, μέσω του ρεύματος 19. Το αποσκληρυμένο πλέον νερό τροφοδοτείται στην δεξαμενή του χαλυβουργείου 81C4311 (ρεύμα 18), χωρητικότητας 150 m<sup>3</sup>, της οποίας οι υπερχειλίσσεις ανακυκλώνονται στην δεξαμενή 81C4310.

Το ρεύμα 20 διοχετεύει το επεξεργασμένο νερό συμπλήρωσης στα κυκλώματα νερού ψύξης του χαλυβουργείου.

#### **4.2. Ισοζύγια νερού (Εγκατάσταση Επεξεργασίας)**

Με βάση τους υδρομετρητές που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης επεξεργασίας του νερού συμπλήρωσης (Water Preparation Plant) που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1 και τα αρχεία του Χημείου της εταιρείας SOVEL A.E. υπολογίστηκαν οι παροχές των ρευμάτων που απαρτίζουν το σύνολο της εγκατάστασης.

Οι υπολογισμοί αφορούν μια περίοδο τριών ετών (2004 – 2006) και αναφέρονται στις μέσες τιμές που προκύπτουν. Πιο συγκεκριμένα στην δεύτερη στήλη του Πίνακα 3.4 αναφέρονται οι μέσες ετήσιες ποσότητες νερού που διακινήθηκαν κατά τα έτη λειτουργίας (2004 – 2006). Στην τρίτη στήλη παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες παροχές, ενώ στην τέταρτη στήλη οι ποσότητες των διαφόρων ρευμάτων εκφράζονται ως ποσοστό του ρεύματος τροφοδοσίας της δεξαμενής των πομωτών (ρεύμα 1).

Πίνακας 4.4. Ισοζύγια Νερού για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας

Ρεύμα	Ποσότητα Νερού m <sup>3</sup> (Βάση υπολογισμών : 1 έτος)	Μέση ημερήσια Παροχή (AVG m <sup>3</sup> /d)	Ποσοστό % της Τροφοδοσίας
1	1079938	3042	100,00
2	218324	746	20,22
3	861614	2297	79,78
4	858379	2287	79,48
5	3235	9	0,30
6	88216	252	8,17
7	268224	626	24,84
8	502087	1409	46,49
9	43643	123	4,04
10	458444	1287	42,45
11	61879	176	5,73
12	7775	22	0,72
13	389036	1090	36,02
14	5148	14	0,48
15	231004	648	21,39
16	152884	428	14,16
17	492246	1388	45,58
18	445728	1296	41,27
19	46517	131	4,31
20	431094	1215	39,92

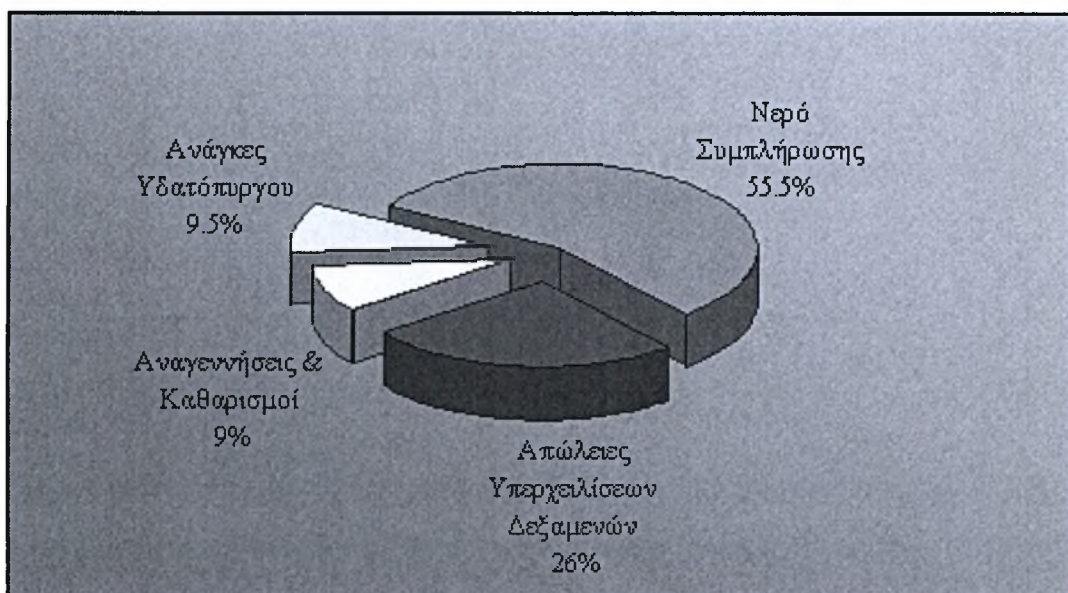
Από την μελέτη και επεξεργασία των τιμών που προκύπτουν για 3 έτη λειτουργίας και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4 είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η ακόλουθη ανάλυση των καταναλώσεων του νερού για την εγκατάσταση επεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας της εταιρείας SOVEL A.E.

Πίνακας 4.5. Ανάλυση Καταναλώσεων για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης

Περιγραφή	Ρεύματα	Ποσοστό %
Νερό Συμπλήρωσης Χαλυβουργείου/Νερό Τροφοδοσίας	(20)/(1)	≈ 40
Νερό Συμπλήρωσης Ελασματοουργείου/Νερό Τροφοδοσίας	(12)+(16)/(1)	≈ 15
Νερό Συμπλήρωσης Δομικού Πλέγματος/ Νερό Τροφοδοσίας	(14)/(1)	≈ 0.5
Σύνολο Νερού Συμπλήρωσης/Νερό Τροφοδοσίας	(20)+(12)+(16)+(14)/(1)	≈ 55.5
Υπερχειλίσσεις Δεξαμενής Πομωνών/Νερό Τροφοδοσίας	(2)/(1)	≈ 20
Υπερχειλίσσεις Δεξαμενής Κατανεμητή/Νερό Τροφοδοσίας	(11)/(1)	≈ 6
Υπερχειλίσσεις Δεξαμενών/Νερό Τροφοδοσίας	(2)+(11)/(1)	≈ 26
Ανάγκες Υδατόπυργου/Νερό Τροφοδοσίας	(6)/(1)	≈ 9.5
Αναγεννήσεις και Καθαρισμοί/Νερό Τροφοδοσίας	(5)+(9)+(19)/(1)	≈ 9
Σύνολο Καταναλώσεων/Νερό Τροφοδοσίας	(20)+(12)+(16)+(14)+(2)+(11)+(6)+(5)+(9)+(19)/(1)	≈ 100

Μελετώντας την παραπάνω ανάλυση, παρατηρούμε ότι περίπου το **40%** του νερού των γεωτρήσεων που εισέρχεται στην δεξαμενή των πομωνών καταναλώνεται για την συμπλήρωση σε νερό των κυκλωμάτων του χαλυβουργείου (QW, CW και KW) με μέση ημερήσια παροχή της τάξεως των **1215 m<sup>3</sup>**. Γενικότερα, η τροφοδοσία της δεξαμενής του χαλυβουργείου 81C4310 (Σχ. 4.1) μπορεί να μας δώσει μια αίσθηση για την ποσότητα του νερού που προορίζεται για την κάλυψη των αναγκών (συμπεριλαμβανομένων και των αναγεννήσεων του αποσκληρυντή) του Χαλυβουργείου της εταιρείας. Η τροφοδοσία της δεξαμενής αυτής (ρεύματα 7 και 15) αποτελεί περίπου το **46%** του νερού που εισέρχεται στην δεξαμενή των πομωνών με μέση ημερήσια παροχή **≈1275 m<sup>3</sup>/d**.

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.5, προκύπτει το Σχήμα 4.3, στο οποίο παρουσιάζονται τα ποσοστά των καταναλώσεων του φρέσκου νερού συμπλήρωσης.



Σχήμα 4.3 Ανάλυση Καταναλώσεων Νερού για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Συμπλήρωσης.

#### 4.1.2. Κατανάλωση νερού σε σχέση με το προϊόν

Με βάση την επεξεργασία των ισοζυγίων του νερού που προηγήθηκε, είναι δυνατό να εκτιμήσουμε την συνεισφορά του νερού ψύξης στην παραγωγή του τελικού προϊόντος του Χαλυβουργείου. Το χαλυβουργείο της εταιρείας ξεκίνησε την λειτουργία του τον Αύγουστο του 2001. Ακριβή στοιχεία ωστόσο, για την δυναμικότητα του ως προς το τελικό προϊόν και τις αντίστοιχες καταναλώσεις του νερού τηρούνται από το έτος 2003 και έπειτα.

Επομένως, με την επεξεργασία σε ετήσια βάση των παραπάνω αρχείων προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας :

Πίνακας 4.6. Δυναμικότητα και Ανάγκες σε νερό του Χαλυβουργείου.

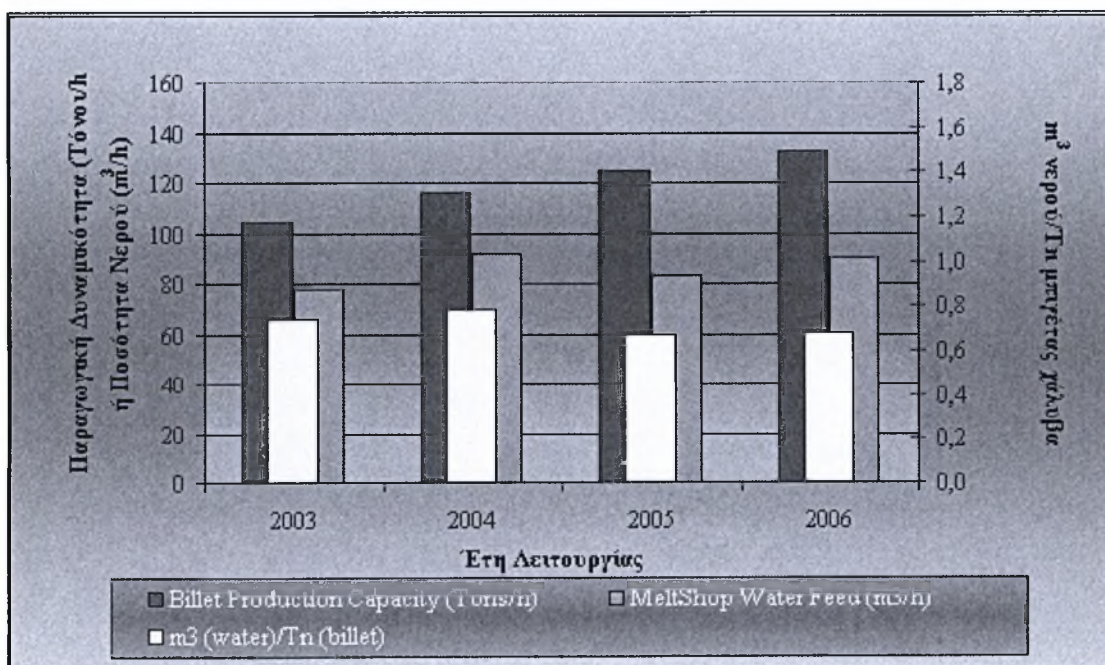
Έτος Λειτουργίας	Δυναμικότητα (tn μπιγέτας)	Ώρες Λειτουργίας (hours)	Δυναμικότητα (tn μπιγέτας/h)	Ανάγκες Χαλυβουργείου (m <sup>3</sup> νερού)	Ανάγκες Χαλυβουργείου (m <sup>3</sup> νερού/h)	m <sup>3</sup> νερού/ tn μπιγέτας
2003	590000	5639	104.6	439713	78.0	0.75
2004	642405	5518	116.5	506460	91.8	0.79
2005	697509	5605	124.4	467591	83.4	0.67
2006	771539	5808	133	523633	90.2	0.68
<b>AVG</b>	<b>675363</b>	<b>5643</b>	<b>120</b>	<b>484349</b>	<b>85.8</b>	<b>0.72</b>

Από την μελέτη των τιμών του παραπάνω πίνακα και τη γραφική τους παράσταση (Σχήμα 4.4) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Το 2004 οι ώρες λειτουργίας του χαλυβουργείου μειώθηκαν, ενώ η δυναμικότητα του αυξήθηκε. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αντικατάσταση του υπάρχοντος κλιβάνου με καινούργιο μεγαλύτερης χωρητικότητας, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων τελικού προϊόντος. Η αντικατάσταση αυτή οδήγησε όπως είναι λογικό και στην κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού ψύξης για τα μεγαλύτερα ψυγεία του νέου κλιβάνου.
- Από το 2005 και μετά ενώ η παραγωγή αυξάνεται, οι ποσότητες του νερού που καταναλώθηκαν ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος μειώθηκαν. Επομένως, γίνεται εμφανές ότι οι επιπρόσθετες ανάγκες σε νερό που απαιτούσε η εγκατάσταση του κλιβάνου δεν μπόρεσαν να ικανοποιηθούν από τις γεωτρήσεις του εργοστασίου, με αποτέλεσμα μια πιο «οριακή» λειτουργία του εργοστασίου.

- ◆ Από τα μέσα σχεδόν του 2005 προστέθηκε άλλη μια γεώτρηση (S3) στις ήδη υπάρχουσες του εργοστασίου, για την κάλυψη μέρους των αναγκών σε νερό. Η ποιότητα ωστόσο, των νερών της γεώτρησης αυτής είναι χαμηλή αλλά η ανάγκη χρήσης της εμφανής.
- ◆ Ρισκάροντας μια πρόβλεψη για το 2007, δεδομένου ότι ο μέσος ρυθμός αύξησης της δυναμικότητας είναι 8.3 %, αναμένεται η παραγωγή μπιγέτας να φτάσει τους 142 tn/h. Για να λειτουργήσει το Χαλυβουργείο στην ίδια αναλογία εισερχόμενου νερού ανά τόνο παραγόμενης μπιγέτας όπως και το 2006 (= 0.68), απαιτείται μια παροχή εισόδου (MeltShop Water Feed) ίση με 96.5 m<sup>3</sup>/h. Δηλαδή θα απαιτηθεί κάποια αύξηση στην τροφοδοσία της δεξαμενής του Χαλυβουργείου 81C4310 (Σχ. 4.1) κατά 7 % περίπου. Αυτή η αύξηση δεν είναι δυνατόν να προέλθει από την χρήση των υφιστάμενων πομωτών – γεωτρήσεων.
- ◆ Η ανάγκη για επιπλέον παροχή νερού γίνεται ακόμα πιο εμφανής αν αναλογιστεί κανείς ότι ήδη η εταιρεία μέσα στο τρέχον έτος σχεδιάζει την μετατροπή του συστήματος φόρτωσης του scrap στον κλίβανο (δίκτυο CONSTEEL), καθώς επίσης και την τοποθέτηση 2<sup>ου</sup> κόσκινου στο χώρο διαχωρισμού του scrap. Οι δύο νέες αυτές επενδύσεις εκτιμάται ότι θα μειώσουν σημαντικά τους νεκρούς χρόνους ανάμεσα στα χυτήρια, επιδρώντας και στην αύξηση της δυναμικότητας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 8.3%, που ίσχυε για τα έτη 2003 – 2006. Υπολογίζεται επίσης ότι το αντλιοστάσιο του CONSTEEL θα απαιτεί 50 – 60 m<sup>3</sup>/h επιπλέον νερό συμπλήρωσης.

- Με βάση όλα τα προηγούμενα στοιχεία αναδεικνύεται η άμεση ανάγκη κάλυψης των αναγκών σε νερό για την εύρυθμη λειτουργία του εργοστασίου γενικότερα και του Χαλυβουργείου ειδικότερα. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να μελετηθούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Έτσι μπορεί να γίνουν επενδύσεις για την λειτουργία νέων πομωτών, για τη λειτουργία μονάδων επεξεργασίας των υφάλμυρων νερών με μεθόδους αφαλάτωσης (π.χ. ιοντοεναλλαγή, αντίστροφη ώσμωση, ηλεκτροδιαπίδηση, εξάτμιση) ή και για τον συνδυασμό τους. Οι διεργασίες αφαλάτωσης θα μπορούσαν να επιτρέψουν και την χρήση ανεκμετάλλευτων ποσοτήτων νερού (π.χ. απώλειες υπερχειλίσης δεξαμενών, νερά βροχοπτώσεων και νερά απομαστεύσεων), αποτελώντας τον άξονα μιας καθολικής και γενικότερης πολιτικής για την εξοικονόμηση του νερού.



Σχήμα 4.4. Δυναμικότητα και Ανάγκες σε νερό του Χαλυβουργείου.



### 4.3. Γενική περιγραφή των Κυκλωμάτων Νερού Ψύξης του Χαλυβουργείου

Το σύνολο της εγκατάστασης των ψυκτικών κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου της εταιρείας σχεδιάστηκε από την Ιταλική εταιρεία **Danieli** με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών σε ανατροφοδοτούμενο νερό ψύξης. Για το λόγο αυτό το νερό, το οποίο έρχεται σε επαφή με τα προϊόντα του Χαλυβουργείου και το οποίο επιβαρύνεται με τις ακαθαρσίες της παραγωγικής διαδικασίας ακολουθεί μια σειρά από διεργασίες καθαρισμού, οι οποίες ελαττώνουν στο ελάχιστο τις απώλειες του.

Οι ανάγκες σε ψύξη των μηχανημάτων που περιλαμβάνει το Χαλυβουργείο της εταιρείας καλύπτονται από την λειτουργία τριών συστημάτων νερού ψύξης που είναι τα ακόλουθα :

1. Κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας **QW/QWR**
2. Ανοικτό κύκλωμα ανακυκλοφορίας έμμεσης επαφής **CW/CWR**
3. Ανοικτό κύκλωμα ανακυκλοφορίας άμεσης επαφής **KW/KWR**

Οι όροι άμεσης και έμμεσης επαφής αναφέρονται στον τρόπο εναλλαγής της θερμότητας μεταξύ του νερού ψύξης και της θερμής επιφάνειας του μηχανήματος ή/και της συσκευής. Επομένως στα ανοικτά κυκλώματα ανακυκλοφορίας CW – R, η διεργασία της θερμικής εναλλαγής λαμβάνει χώρα μέσω μιας διαχωριστικής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας (π.χ. επιφάνεια αυλών), χωρίς την άμεση επαφή του ψυκτικού με το μηχάνημα. Τα αντίθετα ισχύουν για την περίπτωση των κυκλωμάτων άμεσης επαφής (KW/KWR).

Το διάγραμμα ροής του νερού ψύξης των κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου παρατίθενται στο Παράρτημα Α'.

### 4.3.1. Κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας QW/QWR

Το κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας έχει σχεδιαστεί για να ψύχει έμμεσα τη Μηχανή Συνεχούς Χύτευσης (Continuous Casting Machine), τις μήτρες χύτευσης που αυτή περιλαμβάνει καθώς και την μονάδα παραγωγής οξυγόνου του Χαλυβουργείου.

Το κλειστό αυτό κύκλωμα (QW/QWR) περιλαμβάνει δύο εναλλάκτες θερμότητας, 81M1502.01/02, μια δεξαμενή συλλογής του νερού ψύξης 81C4302, όγκου 300 m<sup>3</sup> και το αντλιοστάσιο του κυκλώματος 81M3103 για την μεταφορά του νερού στους χρήστες του. Η ανακυκλοφορία του νερού επιτυγχάνεται λοιπόν με τη χρήση δύο παράλληλα συνδεδεμένων αντλιών παροχής  $Q = 675 \text{ m}^3/\text{h}$  η κάθε μια. Η συνολική παροχή επομένως του ψυκτικού νερού για το κλειστό κύκλωμα ανέρχεται σε 1350 m<sup>3</sup>/h.

Η δεξαμενή του κυκλώματος είναι εφοδιασμένη με συστήματα διακοπών και βαλβίδων για τον έλεγχο της στάθμης της. Επιπλέον στην τροφοδοσία της μονάδας οξυγόνου (Oxygen Plant) είναι εγκατεστημένος ένας υδρομετρητής για την ένδειξη της παροχής, ενώ μέσω ενός μετασχηματιστή θερμοκρασίας παρακολουθείται και η θερμοκρασία του ψυχρού νερού στην δεξαμενή συλλογής 81C4302. Οι ενδείξεις της στάθμης και της θερμοκρασίας της δεξαμενής καθώς και η παροχή του ψυκτικού στην μονάδα οξυγόνου καταγράφονται και ελέγχονται μέσω ενός προγράμματος PLC. Τέλος, στην δεξαμενή του κυκλώματος είναι εγκατεστημένη κατάλληλη μονάδα με δοσιμετρική αντλία για τη προσθήκη ουσιών κατά την χημική επεξεργασία του νερού.

Κατά την διακλάδωση και διέλευση του ψυκτικού νερού από τις μήτρες χύτευσης, το Μηχάνημα Συνεχούς Χύτευσης και την μονάδα οξυγόνου, αυτό θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία 48°C περίπου. Για την ανακυκλοφορία του θερμού πλέον νερού απαιτείται πρωτίστως η ψύξη του πριν τη συλλογή του στην δεξαμενή του κλειστού κυκλώματος. Η ψύξη του ανατροφοδοτούμενου νερού επιτυγχάνεται με την διέλευση του μέσα από δύο εναλλάκτες θερμότητας τύπου πλακών, κατ' αντιρροή προς ρεύμα ψυχρού νερού θερμοκρασίας 30°C περίπου. Το ρεύμα του ψυχρού νερού που χρησιμοποιείται για την θερμική εναλλαγή προέρχεται από το

ανοικτό κύκλωμα έμμεσης επαφής CW/CWR του χαλυβουργείου. Κατ' αυτόν τον τρόπο η θερμοκρασία του ανακυκλοφορούμενου νερού στο κύκλωμα μειώνεται ξανά στους 35 °C περίπου.

Όπως αναφέρθηκε στην § 2.1 στα κλειστά κυκλώματα οι απώλειες νερού είναι μικρές και οφείλονται συνήθως σε μηχανολογικούς λόγους. Οι μηχανολογικές απώλειες σε νερό του εν λόγω συστήματος αποτελούν το 0.2% του ρυθμού ανακυκλοφορίας του νερού στο κύκλωμα, δηλαδή :  $0.2\% \cdot 1350 \sim 2.7 \text{ m}^3/\text{h}$ . Αυτές είναι και οι ανάγκες του κυκλώματος σε νερό συμπλήρωσης, ενώ παρόλο το γεγονός ότι η μελέτη του κυκλώματος από την Danieli αναφέρει τη χρήση αποσκληρωμένου νερού ως νερού συμπλήρωσης, στην πράξη το νερό που χρησιμοποιείται είναι όλο αποσκληρωμένο και μέρος αυτού και απαλκαλιωμένο (45 – 50%). Μερικά χαρακτηριστικά του ψυκτικού νερού του κυκλώματος και των μονάδων που το απαρτίζουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

**Πίνακας 4.7. Χαρακτηριστικά και Ισοζύγια Νερού για το Κλειστό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας QW/QWR**

<b>Μήτρες Χύτευσης</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	840
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	10/2
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	35/45
<b>Μηχανή Συνεχούς Χύτευσης</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	380
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	6/2
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	35/55
<b>Μονάδα Οξυγόνου</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	130
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	5/2
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	35/45
<b>Εναλλάκτες Θερμότητας Πλακών</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	1420
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	48/35
Ποσότητα μεταφερόμενης Θερμότητας, Kcal/h	17,550,000
<b>Ισοζύγια Νερού</b>	
Συνολική Παροχή Κυκλώματος, m <sup>3</sup> /h	RR = 1350
Διαρροές από μηχανολογικά αίτια, m <sup>3</sup> /h	ML = RR · 0.2 % ~ 2.7
Ανάγκες σε νερό συμπλήρωσης, m <sup>3</sup> /h	MU = ML ~ 2.7

#### 4.3.2. Ανοικτό Κύκλωμα ανακυκλοφορίας έμμεσης επαφής CW/CWR

Το κύκλωμα αυτό χρησιμοποιείται για την ψύξη του κλιβάνου του χαλυβουργείου, στον οποίο η τήξη του μετάλλου (scrap) γίνεται με την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - **EAF**), για την ψύξη του μικρότερου κλιβάνου πριν από την χύτευση του τήγματος (Ladle Furnace – **LF**), καθώς και για τον ψύξη των καυσαερίων που ελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της τήξης του μετάλλου και πριν να οδηγηθούν στα σακόφιλτρα. Τέλος ένα μέρος του ψυκτικού νερού του κυκλώματος διοχετεύεται στους εναλλάκτες θερμότητας πλακών 81M1502 που χρησιμοποιούνται για την ψύξη του θερμού νερού του κυκλώματος QW – R, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Η παρουσία του κλιβάνου LF αποσκοπεί στην ρύθμιση της θερμοκρασίας του τήγματος πριν από την χύτευση του. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με την παρουσία ηλεκτροδίων και με την ανάδευση του τήγματος με την προσθήκη αδρανών αερίων. Επίσης, κατά τη διάρκεια παραμονής του τήγματος στον κάδο αυτού του κλιβάνου πραγματοποιείται και η προσθήκη σιδηροκραμάτων για την επίτευξη της επιθυμητής σύστασης του χάλυβα.

Οι επιστροφές του θερμού νερού (κυκλώματα CWR) απ' όλα αυτά τα μηχανήματα και τις συσκευές οδηγούνται στον πύργο ψύξης εξαναγκασμένης ροής του κυκλώματος 81M1102, όπου και ψύχονται σε μια θερμοκρασία γύρω στους 30°C. Το ψυχρό νερό συλλέγεται στην δεξαμενή του κυκλώματος 81C4303, συνολικού όγκου 500 m<sup>3</sup> και κατόπιν ανατροφοδοτείται στους διάφορους χρήστες μέσω ενός αντλιοστασίου 81M3104 που περιλαμβάνει έξι αντλίες παράλληλα συνδεδεμένες και μια έβδομη εφεδρική, παροχής  $Q \approx 583 \text{ m}^3/\text{h}$  η καθεμιά. Στα ρεύματα τροφοδοσίας του ψυκτικού νερού προς τους διάφορους χρήστες είναι εγκατεστημένα παροχόμετρα (στροβιλόμετρα). Επιπλέον έχει ληφθεί μέριμνα ώστε η στάθμη του νερού στην δεξαμενή να διατηρείται αυτόματα μέσω ενός συστήματος που αποτελείται από διακόπτες στάθμης και πνευματικές βαλβίδες για την προσθήκη νερού συμπλήρωσης. Η δεξαμενή τέλος είναι εφοδιασμένη με όργανα για την μέτρηση της θερμοκρασίας

του νερού και τον καθορισμό του αριθμού των ανεμιστήρων που θα πρέπει να βρίσκονται σε λειτουργία για την ψύξη του ανακυκλοφορούμενου νερού στην επιθυμητή θερμοκρασία. Στην είσοδο του ψυκτικού πύργου επίσης είναι τοποθετημένα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας και μανόμετρο.

Όπως αναφέρθηκε στην § 2.1 στα ανοικτά κυκλώματα έχουμε απώλειες νερού κυρίως λόγω εξάτμισής του, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των αλάτων στο ανακυκλοφορούμενο νερό να αυξάνει. Για το λόγο αυτό ένα μέρος του νερού πρέπει περιοδικά να απομακρύνεται (*Blowdown – στρατσώνα*) και να αντικαθίσταται από καινούργιες ποσότητες νερού (*Makeup water – νερό συμπλήρωσης*), έτσι ώστε να διατηρείται μια σταθερή ποιότητα. Για την επίτευξη αυτής της διαχείρισης, κατά το σχεδιασμό του συστήματος λήφθηκε μέριμνα για την τοποθέτηση αγωγιμομέτρου ώστε να ελέγχεται η τιμή της αγωγιμότητας του ανακυκλοφορούμενου νερού και όταν αυτή ξεπεράσει κάποια επιτρεπτά όρια να πραγματοποιείται απομάκρυνση (απομάστευση – στρατσώνα) ποσοτήτων του μέχρι η τιμή να επανέλθει σε αποδεκτά και πάλι επίπεδα.

Οι αρχικές προδιαγραφές της Danieli που αφορούσαν το νερό συμπλήρωσης του κυκλώματος υπαγόρευαν την χρήση 100% απαλκαλιωμένου νερού, ένα ποσοστό 40% του οποίου να υφίσταται και αποσκλήρυνση. Δεδομένου ότι ο τωρινός απαλκαλιωτής δεν επαρκεί για τις ανάγκες του χαλυβουργείου και ελασματοουργείου σε απαλκαλιωμένο νερό, στην πράξη για το νερό συμπλήρωσης του κυκλώματος CW – R του χαλυβουργείου χρησιμοποιείται 100% αποσκλήρυνμένο νερό και ένα ποσοστό αυτού ίσο με 45 – 50 % απαλκαλιωμένο. Αυτή η ποιότητα νερού χρησιμοποιείται σαν νερό συμπλήρωσης και για τα υπόλοιπα κυκλώματα QW/QWR και CW/CWR.

Τα χαρακτηριστικά του νερού που τροφοδοτεί τα διάφορα επιμέρους κυκλώματα των μηχανημάτων και συσκευών που συνιστούν το ολικό κύκλωμα CW/CWR παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8 :

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά και Ισοζύγια Νερού για το Ανοικτό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας CW/CWR

<b>Εναλλάκτες Θερμότητας Πλακών</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	1350
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	30/43
Ποσότητα μεταφερόμενης Θερμότητας, Kcal/h	17,550,000
<b>Αγωγός Καυσαερίων</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	1200
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	6/3
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	45/60
<b>Κλίβανος E.A.F</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	1627
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	6/2
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	30/45
<b>Κέλυφος Κλιβάνου</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	250
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	6/3
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	30/40
<b>Κλίβανος LF</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	221
Πίεση Εισόδου/Εξόδου, bar	6/3
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	30/45
<b>ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ 81M1102</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	3500
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	50/30 max, 40/30 avg
Ποσότητα μεταφερόμενης Θερμότητας, Kcal/h	68,960,000
<b>Ισοζύγια Νερού</b>	
Συνολική Παροχή Κυκλώματος, m <sup>3</sup> /h	RR = 3500
Απώλειες λόγω Εξατμίσεων, m <sup>3</sup> /h	Ev ~ 57 (εξ. 2-2)
Κύκλοι Συμπύκνωσης	3
Απώλειες λόγω Στρατώνας, m <sup>3</sup> /h	BD ~ 28 (εξ. 2-1)
Απώλειες λόγω Συμπαρασυρμού, m <sup>3</sup> /h	DL = RR · 0.05% ~ 1.8
Απώλειες λόγω μηχανικών διαρροών, m <sup>3</sup> /h	ML = RR · 0.05% ~ 1.8
Ανάγκες σε νερό συμπλήρωσης, m <sup>3</sup> /h	MU ~ 85 (εξ. 2-3)

### 4.3.3. Ανοικτό Κύκλωμα ανακυκλοφορίας άμεσης επαφής KW/KWR

Το κύκλωμα αυτό παρέχει το ψυκτικό νερό το οποίο έρχεται σε άμεση επαφή με τον χάλυβα που παράγεται και μεταφέρεται στη Μηχανή Συνεχούς Χύτευσης (ΜΣΧ) του χαλυβουργείου. Η άμεση επαφή με το μέταλλο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και τον εμπλουτισμό του με διάφορες προσμίξεις όπως σκουριά, σκόνες, καλαμίνα και γράσο, οι οποίες στη συνέχεια πρέπει να απομακρυνθούν για να διατηρηθεί μια σταθερή ποιότητα του ανατροφοδοτούμενου νερού.

#### Φρεάτιο Πρωτογενούς Διαχωρισμού (Scale Pit) 81M2402

Οι επιστροφές του νερού από τα συστήματα ψεκασμού και άμεσης ψύξης της ΜΣΧ οδηγούνται με την βοήθεια ενός ανοικτού καναλιού στο φρεάτιο 81M2402 (scale pit), όπου πραγματοποιείται μια πρώτη απομάκρυνση των μεγαλύτερων στερεών σωματιδίων. Το φρεάτιο συνίσταται από μια τσιμεντένια δεξαμενή, διαμέτρου έξι μέτρων με κωνικό πυθμένα και από έναν αγωγό παροχής νερού. Το μέγεθος του φρεατίου είναι τέτοιο, ώστε το νερό να παρουσιάζει μια ανοδική ροή ταχύτητας 11 m/h περίπου. Στο φρεάτιο αυτό μπορεί να καταδυθεί η αρπάγη 81M4502 με τη βοήθεια ενός συστήματος ανύψωσης με τροχαλία 81M4602, με σκοπό την περιοδική συλλογή των στερεών ουσιών που συγκεντρώνονται στον πυθμένα του φρεατίου. Το προς επεξεργασία νερό διοχετεύεται στην συνέχεια στην γειτονική δεξαμενή 81C4305, όγκου 70 m<sup>3</sup>. Στην δεξαμενή αυτή μέσω της διάταξης του λιποσυλλέκτη 81M4102 είναι δυνατό να απομακρυνθούν τα λιπαρά συστατικά (έλαια, γράσο κλπ) που βρίσκονται στην επιφάνεια του νερού. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της αντλίας 81C4305, το νερό μεταφέρεται στην μονάδα διήθησης 81M2102 για περαιτέρω επεξεργασία.

Πίνακας 4.9. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φρεατίου Πρωτογενούς Καθαρισμού 81M2402

Φρεάτιο 81M2402	
Διάμετρος, m	6
Χωρητικότητα, m <sup>3</sup>	~ 75
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	482
Θερμοκρασία Νερού, °C	55 max
Αιωρούμενα σωματίδια στην είσοδο, mg/L	~ 1500
Αιωρούμενα σωματίδια στην έξοδο, mg/L	~ 70
Συγκέντρωση ελαίων στο εξερχόμενο νερό, mg/L	<5

**Μονάδα Διήθησης (Filtration Unit) 81M2102**

Η μονάδα αυτή αποτελείται από τρία κατακόρυφα κυλινδρικά δοχεία άμμου, διαμέτρου 3.2 m το καθένα, με κυρτά καπάκια οροφής και πυθμένα. Τα φίλτρα συγκρατούν τα εναπομείναντα στερεά και έλαια πριν το εξερχόμενο νερό διοχετευτεί στον πύργο ψύξης 81M1103 για την ψύξη και ανακυκλοφορία του μέσω δύο παράλληλα συνδεδεμένων αντλιών 81M3110.01/02 ( $Q = 260 \text{ m}^3/\text{h}$  η καθεμιά) και μιας εφεδρικής /03.

Το διηθητικό μέσο των φίλτρων αποτελείται από έναν αριθμό στρωμάτων χαλαζιακής άμμου. Οι διαστάσεις των φίλτρων είναι τέτοιες, ώστε να εξασφαλίζεται ρυθμός διήθησης ίσος με  $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  περίπου, ενώ η συγκέντρωση της αιωρούμενης στερεάς φάσης στην έξοδό τους κυμαίνεται στα 20 mg/L κατά μέγιστο. Το καθαρό νερό τροφοδοτείται στον πύργο ψύξης εξαναγκασμένης ροής 81M1103 του κυκλώματος και κατόπιν ψύξης στην δεξαμενή συλλογής του κυκλώματος 81C4306.

Ο περιοδικός καθαρισμός των φίλτρων χαλαζιακής άμμου επιτυγχάνεται με ρεύμα αέρα και νερού που ρέουν κατ' αντιρροή. Το αντλιοστάσιο 81M3109 παρέχει το νερό από την δεξαμενή συλλογής 81C4306, συνολικής χωρητικότητας  $200 \text{ m}^3$ . Ο αέρας για την επιτέλεση του καθαρισμού των φίλτρων παρέχεται από τον φυσητήρα 81M3702, παροχής  $Q = 640 \text{ m}^3/\text{h}$  σε πίεση 0.8 bar.



Πίνακας 4.10. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μονάδας Διήθησης Χαλαζιακής Άμμου 81M2102

Φίλτρα Διήθησης Χαλαζιακής Άμμου 81M2102	
Διάμετρος, m	3.2
Ύψος Κυλινδρικού Κελύφους, m	4
Συνολικό Ύψος, m	~ 5
Επιφάνεια Καθαρισμού, m <sup>2</sup>	8
Διηθητικό Μέσο	Χαλαζιακή Άμμος
Ρυθμός Φιλτραρίσματος, m <sup>3</sup> / (h · m <sup>2</sup> )	20
Πτώση Πίεσης με καθαρό Φίλτρο, bar	~ 0.2
Αιωρούμενα σωματίδια στο νερό εξόδου, mg/L	10 – 20
Χρόνος Έκπλυσης Φίλτρων, min	~ 30
Νερό Έκπλυσης, m <sup>3</sup>	30

### Παχυντής Λάσπης (Sludge Thickener) 81M2502

Με τη βοήθεια της βαρύτητας το νερό αντίστροφης πλύσης των φίλτρων μεταφέρεται στον παχυντή λάσπης 81M2502. Ο παχυντής είναι η βιομηχανική εκείνη εγκατάσταση όπου η συγκέντρωση ενός αιωρήματος αυξάνεται με την κατακάθιση λόγω βαρύτητας και το σχηματισμό ενός καθαρού υγρού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι μεγάλη και συμβαίνει η λειτουργία της παρεμποδιζόμενης κατακάθισης (*hinterd settling*). Οι παχυντές λειτουργούν σαν μονάδες ασυνεχούς ή συνεχούς ροής και γενικά αποτελούνται από αβαθείς δεξαμενές, απ' όπου το καθαρό υγρό λαμβάνεται από την κορυφή με υπερχειλίση και το πυκνό ρευστό με τα στερεά σωματίδια από τον πυθμένα. Ο παχυντής επομένως έχει διπλή αποστολή : πρώτον, θα πρέπει το νερό να εξέρχεται κατάλληλα διαυγασμένο και άρα η ταχύτητα προς τα πάνω του υγρού πρέπει να είναι μικρότερη από την ταχύτητα κατακάθισης των σωματιδίων για την αποφυγή συμπαρασυρμού των τελευταίων (με άλλα λόγια, για μια δεδομένη παροχή τροφοδοσίας η ικανότητα καθαρισμού της μονάδας προσδιορίζεται από τη διάμετρο της δεξαμενής). Δεύτερο, ο παχυντής απαιτείται να αποδίδει ένα συγκεκριμένο βαθμό πύκνωσης του αιωρήματος. Αυτό ελέγχεται από τον χρόνο παραμονής των σωματιδίων στη δεξαμενή και επομένως από το βάθος κάτω από την είσοδο της τροφοδοσίας[9,3].

Στην περίπτωση του κυκλώματος KW – R του χαλυβουργείου της εταιρείας SOVEL S.A., οι διαστάσεις του παχυντή είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζουν μια ανοδική ροή ίση περίπου με  $1 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$ , για την επίτευξη καθαρού νερού με συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων της τάξεως των  $70 \text{ mg/L}$  περίπου. Για την αύξηση της ταχύτητας κατακάθισης των σωματιδίων στη δεξαμενή του παχυντή προστίθεται κατάλληλος ηλεκτρολύτης, μέσω της δοσιμετρικής μονάδας 81M4202. Η λάσπη που συσσωρεύεται στον πυθμένα της δεξαμενή του παχυντή διοχετεύεται με την βοήθεια της αντλίας 81M3108 στην δεξαμενή συλλογής της λάσπης 81C4309, η οποία είναι εξοπλισμένη με αναδευτήρα για την ανάμιξή της. Με περιοδική λειτουργία η αντλία 81M3113.01 (η αντλία /02 είναι εφεδρική) μεταφέρει την λάσπη στον φυγοκεντρικό διαχωριστή 81M2602 για την τελική επεξεργασία.

**Πίνακας 4.11. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παχυντή Λάσπης 81M2502**

<b>Παχυντής Λάσπης 81M2502</b>	
Διάμετρος, m	11
Ύψος, m	4
Χωρητικότητα, $\text{m}^3$	300
Παροχή, $\text{m}^3/\text{h}$	90
Θερμοκρασία Νερού, °C	35 max
Επιφανειακό Φορτίο (Surface Loading), $\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$	~ 1
Αιωρούμενα Σωματίδια στο νερό εισόδου, mg/L	6,500 - 8000
Αιωρούμενα Σωματίδια στο νερό εξόδου, mg/L	~ 70
Ποσότητα Ξηρής Λάσπης, %	~ 12

#### **Φυγοκεντρικός Διαχωριστής (Centrifugal Separator) 81M2602**

Ο διαχωρισμός χαρακτηρίζεται από μικρούς χρόνους κατακάθισης και από την δυνατότητα διαχωρισμού και για πολύ μικρά σωματίδια. Καθίσταται αδύνατη ωστόσο με τη μέθοδο αυτή η επεξεργασία μεγάλων όγκων αιωρημάτων[8].

Η μέθοδος διαχωρισμού στηρίζεται στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ της στερεάς και υγρής φάσης. Η διάταξη του διαχωριστή αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο, το οποίο τίθεται σε περιστροφή γύρω από τον άξονα του. Κατά τη λειτουργία της συσκευής πάνω στα σωματίδια ασκούνται φυγοκεντρικές δυνάμεις, οι οποίες είναι μεγαλύτερες απ' αυτές που ασκούνται στο υγρό εξ' αιτίας της διαφοράς στην πυκνότητα. Η απόδοση της διεργασίας του διαχωρισμού ενισχύεται από την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη από τη δοσιμετρική μονάδα 81M4203. Η υγρή καθαρή φάση εξέρχεται με υπερχειλίση από το πάνω μέρος του δοχείου και μεταφέρεται στην δεξαμενή συλλογής του κυκλώματος 81C4306.

Με την εγκατάσταση μανομέτρων, αγωγιμομέτρων, μετρητών θερμοκρασίας, βαλβίδων και βανών επιτυγχάνεται ο έλεγχος των συνθηκών και της στάθμης του νερού στην δεξαμενή, η οποία είναι επιπλέον εξοπλισμένη και με δοσιμετρική μονάδα (81M4207) για την χημική επεξεργασία του ανακυκλοφορούμενου νερού.

Όπως αναφέρθηκε το καθαρό νερό που εξέρχεται από την μονάδα διήθησης, πριν συλλεχθεί στην δεξαμενή του κυκλώματος 81C4306, διέρχεται από τον πύργο ψύξης εξαναγκασμένης ροής 81M1103. Τα χαρακτηριστικά του νερού αυτού παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12 :

Πίνακας 4.12. Χαρακτηριστικά Πύργου Ψύξης 81M1103 και Ισοζύγια Νερού για το Ανοικτό κύκλωμα ανακυκλοφορίας KW/KWR

<b>ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ 81M1103</b>	
Παροχή, m <sup>3</sup> /h	520
Θερμοκρασία Εισόδου/Εξόδου, °C	55 max – 45 avg /35
Ποσότητα μεταφερόμενης Θερμότητας, Kcal/h	9,640,000
<b>Ισοζύγια Νερού</b>	
Συνολική Παροχή Κυκλώματος, m <sup>3</sup> /h	RR = 520
Απώλειες λόγω Εξατμίσεων, m <sup>3</sup> /h	Ev = 9.3 (εξ. 2-2)
Απώλειες Direct Splash, m <sup>3</sup> /h	SL = RR · 1.5 % = 7.8
Απώλειες λόγω Στρατόνας, m <sup>3</sup> /h	BD = 8.5 (εξ. 2-1)
Απώλειες λόγω Συμπαρασυρμού, m <sup>3</sup> /h	DL = RR · 0.05% ~ 0.26
Απώλειες λόγω μηχανικών διαρροών, m <sup>3</sup> /h	ML = RR · 0.05% ~ 0.26
Ανάγκες σε νερό συμπλήρωσης, m <sup>3</sup> /h	MU = Ev + SL + BD = 25.5

#### 4.3.4. Κύκλωμα Έκτακτης Ανάγκης EW

Τα κυκλώματα νερού ψύξης έμμεσης επαφής του χαλυβουργείου (QW/QWR, CW/CWR) έχουν εφοδιαστεί με κύκλωμα έκτακτης ανάγκης που αποτελείται από την δεξαμενή νερού 81B4304, συνολικής χωρητικότητας 250 m<sup>3</sup>. Το εσωτερικό μέρος της δεξαμενής αυτής, όγκου 100 m<sup>3</sup> προορίζεται για τον κλίβανο EAF (CW – R), ενώ το εξωτερικό μέρος με όγκο 150 m<sup>3</sup> προβλέπεται να τροφοδοτήσει με νερό ψύξης τις μήτρες χύτευσης και την μηχανή συνεχούς χύτευσης (QW – R). Η δεξαμενή αυτή είναι τοποθετημένη σε ύψος 40 m από το έδαφος και η ροή του νερού ψύξης σε περίπτωση λειτουργίας της γίνεται κάτω από την επίδραση της βαρύτητας.

#### 4.4. Ισοζύγια νερού (Κυκλώματα Ανακυκλοφορίας Χαλυβουργείου)

Τα φαινόμενα της διάβρωσης και των επικαθίσεων είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ποιοτική σύσταση των νερών που διατρέχουν τα ψυκτικά κυκλώματα. Ωστόσο μια πιθανή κακή ποιότητα των νερών μπορεί να οφείλεται και στην διαθεσιμότητα ή μη σε νερό συμπλήρωσης της εγκατάστασης. Επομένως, καθίσταται σαφές πως για μια καθολική εκτίμηση των προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων σε μια εγκατάσταση κυκλωμάτων ανακυκλοφορίας νερού ψύξης, πέραν της ποιοτικής ανάλυσης, σημαντικές πληροφορίες μπορεί να παράσχει και η ποσοτική. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστούν τα ισοζύγια νερού των κυκλωμάτων ανακυκλοφορίας του Χαλυβουργείου του εργοστασίου.

#### 4.4.1. Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Ανακυκλοφορίας

Όπως ήδη έχει αναφερθεί το ρεύμα 20 του Σχ. 4.1 αντιπροσωπεύει το συνολικό νερό συμπλήρωσης και των τριών κυκλωμάτων ανακυκλοφορίας του Χαλυβουργείου. Με βάση τους υδρομετρητές που είναι εγκατεστημένοι σε κάθε κύκλωμα χωριστά και τις ημερήσιες καταγραφές των τιμών τους στα αρχεία του Χημείου της εταιρείας, υπολογίζονται τα κυβικά μέτρα νερού που συμπληρώνονται για κάθε μέρα λειτουργίας του χαλυβουργείου για το έτος 2006.

Πίνακας 4.13. Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006.

ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΗΝΑΣ	QW/QWR			CW/CWR			KW/KWR		
	Νερό Συμπλήρωσης (m <sup>3</sup> /d)			Νερό Συμπλήρωσης (m <sup>3</sup> /d)			Νερό Συμπλήρωσης (m <sup>3</sup> /d)		
	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG
Ιαν – 06	0	273	82	281	1820	783	0	740	148
Φεβ – 06	0	108	19	479	1190	817	11	639	237
Μαρ – 06	0	75	22	720	1653	1121	21	494	248
Απρ – 06	0	232	38	0	4384	1401	0	888	153
Μαϊ – 06	0	322	72	777	1360	1119	75	566	339
Ιουν – 06	0	274	99	680	1303	948	3	396	195
Ιουλ – 06	16	242	92	566	1321	955	0	336	167
Αυγ – 06	0	639	111	0	1425	733	0	1009	146
Σεπ – 06	21	366	143	505	1249	1044	22	309	162
Οκτ – 06	70	397	182	327	1343	887	0	661	143
Νοε – 06	0	250	87	563	1303	876	69	492	215
Δεκ – 06	0	263	36	490	1398	820	12	462	180
<b>2006</b>	<b>0</b>	<b>639</b>	<b>82</b>	<b>0</b>	<b>4384</b>	<b>959</b>	<b>0</b>	<b>1009</b>	<b>194</b>

Στον Πίνακα 4.13 παρουσιάζονται οι ποσότητες του νερού συμπλήρωσης του κάθε ενός κυκλώματος χωριστά. Οι ποσότητες αυτές είναι εκφρασμένες σε ημερήσια βάση. Για σύγκριση των ποσοτήτων αυτών με τις τιμές που αναφέρονται στον οδηγό της Dianeli για την χρήση και τη συντήρηση της εγκατάστασης, κρίνεται σκόπιμη η μετατροπή τους σε m<sup>3</sup>/h. Με τη βοήθεια των στοιχείων που συλλέχθηκαν από τα αρχεία του τμήματος Παραγωγής του Χαλυβουργείου και της Γραμματείας του Εργοστασίου πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες μετατροπές. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών καθώς και οι ανάγκες σε νερό συμπλήρωσης με βάση τις προδιαγραφές της Danieli παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.14 και 4.15 :

Πίνακας 4.14. Συνολικό Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	QW/QWR Νερό Συμπλήρωσης (AVG m <sup>3</sup> /d)	CW/CWR Νερό Συμπλήρωσης (AVG m <sup>3</sup> /d)	KW/KWR Νερό Συμπλήρωσης (AVG m <sup>3</sup> /d)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ (h/month)	Εργάσιμες Ημέρες (d/month)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ (h/d)	QW/QWR Νερό Συμπλήρωσης (AVG m <sup>3</sup> /h)	CW/CWR Νερό Συμπλήρωσης (AVG m <sup>3</sup> /h)	KW/KWR Νερό Συμπλήρωσης (AVG m <sup>3</sup> /h)
ΜΗΝΑΣ									
Ιαν - 06	82	783	148	487	30	16.2	5	48	9
Φεβ - 06	19	817	237	445.5	28	15.9	1	51	15
Μαρ - 06	22	1121	248	572	31	18.5	1	61	13.5
Απρ - 06	38	1401	153	387	23	16.8	2.5	83	9
Μαϊ - 06	72	1119	339	631	31	20.4	3.5	55	16.5
Ιουν - 06	99	948	195	477	30	15.9	6.5	59.5	12
Ιουλ - 06	92	955	167	504.5	31	16.3	5.5	58.5	10.5
Αυγ - 06	111	733	146	368	27	13.6	8	54	10.5
Σεπ - 06	143	1044	162	596	30	19.9	7	52.5	8
Οκτ - 06	182	887	143	498	31	16.1	11.5	55	9
Νοε - 06	87	876	215	471.4	30	15.7	5.5	56	13.5
Δεκ - 06	36	820	180	369.8	23	16.1	2	51	11
<b>AVG 2006</b>	<b>82</b>	<b>959</b>	<b>194</b>	<b>484</b>	<b>29</b>	<b>16.8</b>	<b>5.0</b>	<b>57</b>	<b>11.5</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΝΕΡΟΥ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ (AVG m<sup>3</sup>/h)</b>							<b>73.6</b>		

Πίνακας 4.15. Απώλειες και ανάγκες σε Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου, βάσει προδιαγραφών

	QW	CW	KW
Παροχή Νερού	1350	3500	520
ΔT avg (°C)		10	10
Concentration Cycles		3	3
Απώλειες Εξατμίσεων (m <sup>3</sup> /h)		62.5	9.3
Απώλειες Direct Splash (m <sup>3</sup> /h)			7.8
Απώλειες Στρατσώνας (m <sup>3</sup> /h)	2.7	31	8.5
Νερό Συμπλήρωσης (m <sup>3</sup> /h)	2.7	93.5	25.5
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΝΕΡΟΥ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>~ 122</b>		

Η μέση τιμή του συνολικού νερού συμπλήρωσης (AVG m<sup>3</sup>/h) που τροφοδοτήθηκε για το έτος 2006 στα κυκλώματα ανακυκλοφορίας, υπολογίστηκε όπως αναφέρθηκε, από τις ενδείξεις και τις καταγραφές των υδρομετρητών του χαλυβουργείου. Πρόκειται δηλαδή για μια μέση τιμή των μετρήσεων που καταγράφηκαν κάθε εργάσιμη μέρα του έτους. Για το λόγο αυτό θα πρέπει και η τιμή που αναγράφεται στον Πιν. 4.15 και που προέρχεται από τις προδιαγραφές της

Danieli να αναχθεί στην χρονική διάρκεια του έτους, δηλαδή να πολλαπλασιαστεί με ένα κατάλληλο συντελεστή (*συντελεστή λειτουργίας*), ο οποίος θα λαμβάνει υπ' όψιν τις εργάσιμες ημέρες του χρόνου καθώς και τις εργάσιμες ώρες στη διάρκεια της ημέρας.

Με βάση τα δεδομένα που αναγράφονται στον Πιν. 4.14, προκύπτει ότι για το έτος 2006, το χαλυβουργείο λειτούργησε κατά μέσο όρο 16.8 ώρες/ ημέρα και 345 ημέρες/ χρόνο. Επομένως οι ανάγκες σε νερό συμπλήρωσης (AVG m<sup>3</sup>/h) για το έτος 2006, θα είναι (βάση προδιαγραφών):

$$122 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 345 / 365 \cdot 16.8 / 24 = 81 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (AVG)}$$

Η διαφορά μεταξύ της μέσης ετήσιας τιμής των 81 m<sup>3</sup>/h που υπολογίστηκε βάση των προδιαγραφών και της αντίστοιχης των 74 m<sup>3</sup>/h, που προέκυψε από τους υδρομετρητές των κυκλωμάτων μας δείχνει ότι οι απαιτούμενες για την καλή ποιότητα του ανακυκλοφορούμενου νερού, απομαστεύσεις δεν γίνονται ικανοποιητικά, κυρίως λόγω έλλειψης σε νερό συμπλήρωσης από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται στο χώρο των εγκαταστάσεων. Στη συνέχεια κάνοντας μια εκτίμηση των απωλειών λόγω εξάτμισης στα ανοικτά κυκλώματα του χαλυβουργείου, είναι δυνατόν να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα σχετικά με το βαθμό υλοποίησης των απομαστεύσεων για το έτος 2006.

#### 4.4.2. Απώλειες Λόγω Εξατμίσεων στα Ανοικτά Κυκλώματα

Βάσει των εξισώσεων που παρουσιάστηκαν στην § 2.2.2. είναι δυνατό να υπολογιστούν οι καταναλώσεις του νερού ψύξης στα ανοικτά κυκλώματα του Χαλυβουργείου (εξατμίσεις και απομαστεύσεις) για κάθε μήνα του έτους 2006.

Πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό και την εκτίμηση των μέσων τιμών των εξατμίσεων  $E_{v_{est}}$  (AVG m<sup>3</sup>/h) του ανακυκλοφορούμενου νερού στους πύργους ψύξης των κυκλωμάτων CW – R και KW – R, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια παραλλαγή της εξ. (2 -2) :

$$E_{v_{est}} = \frac{\Delta T_{avg}}{5.5} \cdot \frac{RR}{100} \cdot f \quad (4-1)$$

Η μέση θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T_{avg}$  μεταξύ του νερού εισόδου και εξόδου από τον πύργο ψύξης, εκτιμήθηκε σε συμφωνία με τους υπευθύνους του αντλιοστασίου της εταιρείας με βάση τις καταγραφές των θερμοκρασιών στους πύργους ψύξης (PLC). Επίσης σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην § 2.2.2. εκτιμήθηκε και ο διορθωτικός συντελεστής  $f$ , που εκφράζει το ποσοστό της θερμότητας που απομακρύνεται από εξάτμιση προς το συνολικό ποσό θερμότητας που απάγεται κατά την ψύξη του ανακυκλοφορούμενου νερού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.16:

**Πίνακας 4.16. Εξατμίσεις Ανοικτών Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006.**

Μήνας	CW/CWR			KW/KWR		
	$\Delta T_{avg}$ (°C)	Διορθ. Συντελεστής $f$	$Ev_{est}$ (m <sup>3</sup> /h) εξ. (4 – 1)	$\Delta T_{avg}$ (°C)	Διορθ. Συντελεστής $f$	$Ev_{est}$ (m <sup>3</sup> /h) εξ. (4 – 1)
Ιαν-06	8.6	0.65	44.5	8	0.65	5
Φεβ-06	8.8	0.7	49	8	0.7	5
Μαρ-06	8.7	0.75	52	8	0.75	5.5
Απρ-06	8.8	0.75	54	8	0.75	6
Μαϊ-06	8.6	0.8	55	8	0.8	6
Ιουν-06	8.8	0.85	59.5	7.8	0.85	6
Ιουλ-06	8.8	0.9	62	7.7	0.9	6.5
Αυγ-06	9	0.9	64.5	7.6	0.9	6.5
Σεπ-06	8.6	0.85	58	7.2	0.85	6
Οκτ-06	8.7	0.75	53	7.5	0.75	5.5
Νοε-06	8.5	0.7	47.5	7.6	0.7	5
Δεκ-06	8.8	0.65	45.5	7.8	0.65	5
<b>AVG 06</b>	<b>8.7</b>	<b>0.8</b>	<b>54</b>	<b>7.8</b>	<b>0.8</b>	<b>5.5</b>

\* Οι εξατμίσεις αναφέρονται στον πύργο ψύξης του κυκλώματος και όχι και στις εξατμίσεις της άμεσης επαφής

#### 4.4.3. Απώλειες Λόγω Απομαστεύσεων στα Ανοικτά Κυκλώματα

##### Ανοικτό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας Έμμεσης Επαφής CW/CWR

Για την περίπτωση του κυκλώματος CW/CWR, οι απομαστεύσεις που έγιναν κατά το έτος 2006, μπορούν να υπολογιστούν από την εξ. (2 – 3), λύνοντας ως προς τον ρυθμό απομάκρυνσης  $BD$  :



$$BD_{est} = MU_{actual} - Ev_{est} \quad (4-2)$$

Οι συμπληρώσεις ( $MU_{actual}$ ) σε νερό ψύξης του κυκλώματος για το έτος 2006 παρουσιάστηκαν στον Πίν. 4.14 ενώ οι εκτιμήσεις των απωλειών λόγω εξατμίσεων  $Ev_{est}$  δίνονται στον Πιν. 4.16. Με βάση λοιπόν την εξ. (4 – 2), προκύπτει ο Πίνακας 4.17 :

**Πίνακας 4.17. Εκτιμώμενες και Πραγματικές Απομαστεύσεις για το κύκλωμα ανακυκλοφορίας CW/CWR για το έτος 2006.**

CW/CWR	$MU_{actual}$ (AVG $m^3/h$ )	$Ev_{est}$ (AVG $m^3/h$ )	$BD_{est}$ (AVG $m^3/h$ ) (εξ. 4-2)	$C_{actual}$	$BD_{actual}$ (AVG $m^3/h$ ) (εξ. 4-3)
ΜΗΝΑΣ					
Ιαν-06	48	44.5	3.5	2.8	17
Φεβ-06	51	49	2.5	3.0	17
Μαρ-06	61	52	9	2.5	24.4
Απρ-06	83	54	29	1.4	59
Μαϊ-06	55	55	0	2.9	19
Ιουν-06	59.5	59.5	0	2.8	21
Ιουλ-06	58.5	62	0	3.4	17
Αυγ-06	54	64.5	0	3.0	18
Σεπ-06	52.5	58	0	3.5	15
Οκτ-06	55	53	2	2.7	20
Νοε-06	56	47.5	8.5	2.5	22.7
Δεκ-06	51	45.5	5.5	3.0	17
<b>AVG 06</b>	<b>57</b>	<b>~ 52</b>	<b>5</b>	<b>2,8</b>	<b>22</b>

Στην τελευταία στήλη του Πίνακα 4.17 έχουν υπολογιστεί οι πραγματικές απομαστεύσεις  $BD_{actual}$ , με βάση την εξίσωση :

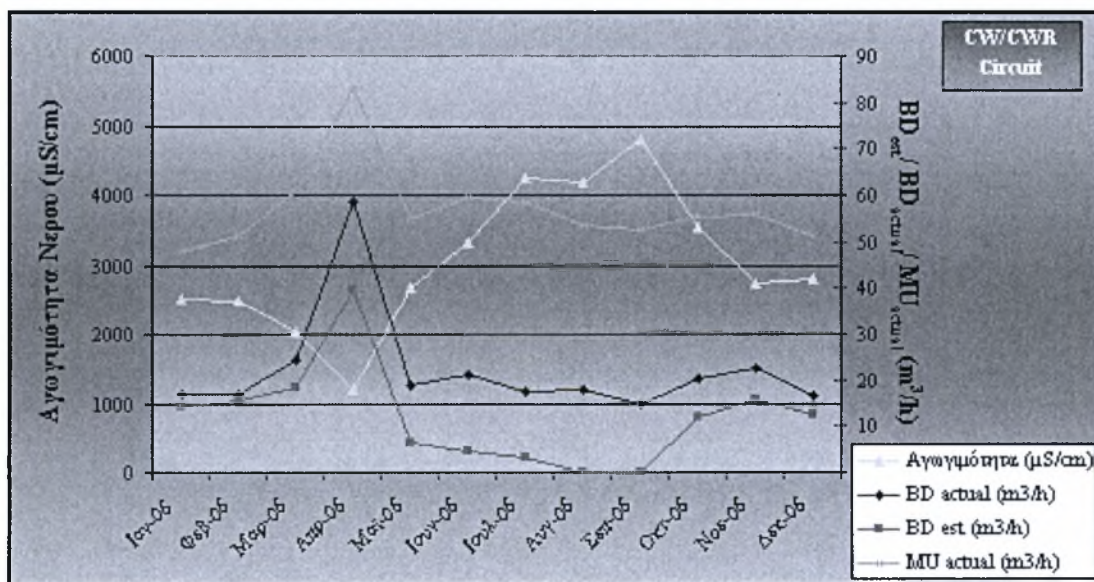
$$BD_{actual} = \frac{MU_{actual}}{C_{actual}} \quad (4-3)$$

Παρατηρώντας τις τιμές των  $BD_{actual}$  και  $BD_{est}$ , παρατηρούμε ότι οι πραγματικές τιμές των απομαστεύσεων ( $BD_{actual}$ ) είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που εκτιμήθηκαν με βάση τις απώλειες λόγω εξατμίσεων ( $BD_{est}$ ). Το γεγονός αυτό μπορεί αρχικά να μοιάζει παράδοξο, ωστόσο έχει την ερμηνεία του. Στις πραγματικές απομαστεύσεις που υπολογίζονται βάσει της εξ. (4 – 3) συγκαταλέγονται και διαρροές του νερού στο κύκλωμα, οι οποίες δεν ήταν

επιθυμητές, προκαθορισμένες και ελεγχόμενες. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί, ότι το ανοικτό κύκλωμα έμμεσης επαφής CW – R παρουσιάζει συχνά προβλήματα διαρροών του ανακυκλοφορούμενου νερού. Οι διαρροές αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αστοχία (τρύπημα) των μεταλλικών υλικών που συνιστούν τα ψυγεία του κλιβάνου και τους αγωγούς που χρησιμοποιούνται για την ψύξη των καυσαερίων.

Οι πραγματικοί κύκλοι συμπίκνωσης της πέμπτης στήλης υπολογίζονται από την εξ. (2 – 4) με βάση τις μέσες τιμές που προκύπτουν για τις συγκεντρώσεις των χλωριόντων από τις καθημερινές μετρήσεις που πραγματοποιεί το τμήμα του Χημείου της εταιρείας. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν τόσο το ανοικτό κύκλωμα ανακυκλοφορίας CW – R ( $Cl_{BD}^-$ ), όσο και την δεξαμενή 81C4311 ( $Cl_{MU}^-$ ), δηλαδή την δεξαμενή συλλογής του νερού συμπλήρωσης των κυκλωμάτων του χαλυβουργείου.

Στο Σχήμα 4.5 παριστάνονται η Αγωγιμότητα του ανακυκλοφορούμενου νερού, το νερό συμπλήρωσης του κυκλώματος ( $MU_{actual}$ ) καθώς και πραγματικές ( $BD_{actual}$ ) και οι εκτιμώμενες ( $BD_{est}$ ) απομαστεύσεις για το έτος 2006.



Σχήμα 4.5. Αγωγιμότητα, Νερό Συμπλήρωσης και Απώλειες Απομαστεύσεων για το ανοικτό κύκλωμα έμμεσης επαφής CW/CWR για το έτος 2006.

Από την μελέτη του Σχ. 4.5 και με βάση τα όσα παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Η αγωγιμότητα του νερού παρουσιάζει ελάχιστο τον μήνα Απρίλιο. Από κει και μετά αυξάνεται, παρουσιάζοντας υψηλές τιμές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και μέγιστη τιμή τον μήνα Σεπτέμβριο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις χαμηλές τιμές των απομαστεύσεων ( $BD_{est}$ ), οι οποίες μηδενίζονται κατά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Επιβεβαιώνεται από τους υπεύθυνους του αντλιοστασίου, ότι κατά τους Καλοκαιρινούς μήνες του 2006, η λειτουργία του εργοστασίου ήταν «οριακή» ως προς την ικανότητα ικανοποίησης των αναγκών σε νερό, με αποτέλεσμα την μη πραγματοποίηση απομαστεύσεων.
- Αν θεωρήσουμε ότι η διαφορά μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμώμενων απομαστεύσεων εκφράζει τις απώλειες λόγω διαρροών στο κύκλωμα, τότε καθίσταται εμφανές ότι οι απώλειες αυτές αυξάνονται στο χρονικό διάστημα μεταξύ Μαΐου και Σεπτεμβρίου του 2006. Δεδομένου ότι το νερό συμπλήρωσης αυτής της περιόδου κυμαίνεται μεταξύ 50 με 60  $m^3/h$  και ότι οι τιμές των εκτιμώμενων εξατμίσεων του Πίνακα 4.17 αυξάνονται για το ίδιο χρονικό διάστημα, γίνεται εμφανής η «οριακή» λειτουργία του κυκλώματος κατά τους μήνες αυτούς.
- Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Danieli του Πίνακα 4.15 οι απώλειες λόγω απομαστεύσεων για το κύκλωμα θα έπρεπε να ανέρχονται στα 31  $m^3/h$ . Λαμβάνοντας υπόψη και τον συντελεστή λειτουργίας του Εργοστασίου, θα έχουμε :

$$31 \text{ m}^3/h \cdot 345/365 \cdot 16.8/24 = \mathbf{20.5 \text{ m}^3/h \text{ (AVG)}}$$

Στον Πίνακα 4.17 ο ετήσιος μέσος όρος των απομαστεύσεων του κυκλώματος, εκτιμήθηκε στα 5  $m^3/h$  περίπου. Επομένως  $5/20.5 \cdot 100\% \sim 24\%$  των απομαστεύσεων βάσει προδιαγραφών πραγματοποιούνται για το έτος 2006.

- Η εκτίμηση των εξατμίσεων με βάση την εξ. (4 – 1) εμπεριέχει παράγοντες σφάλματος που συνίστανται τόσο στην εκτίμηση του διορθωτικού συντελεστή  $f$ , όσο και στην μέση μηνιαία τιμή του  $\Delta T_{avg}$ . Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή μας επιτρέπει να έχουμε μια αρκετά ρεαλιστική εικόνα της λειτουργίας του κυκλώματος, όσον αφορά τις ποσότητες του νερού που διακινούνται..

#### Ανοικτό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας Άμεσης Επαφής KW/KWR

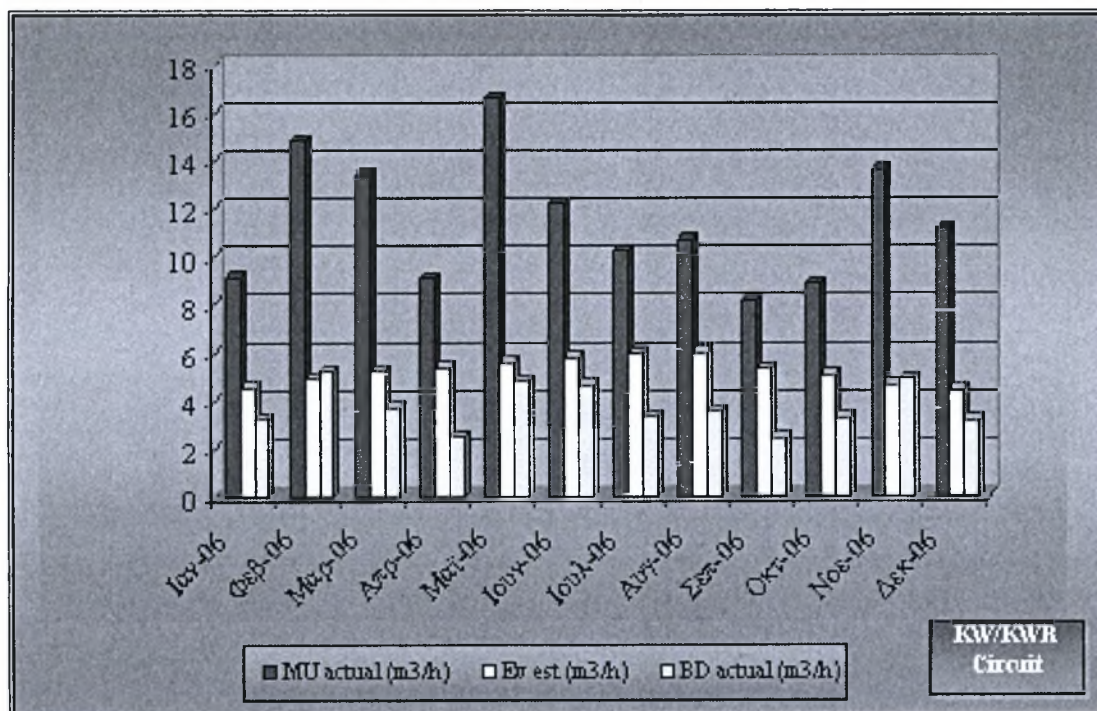
Για την περίπτωση του ανοικτού κυκλώματος άμεσης επαφής είναι αρκετά δύσκολο να ακολουθηθεί η προηγούμενη προσέγγιση ως προς την εκτίμηση των απομαστεύσεων. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι στο κύκλωμα KW/KWR συν τοις άλλοις υπάρχουν και απώλειες λόγω της άμεσης επαφής του νερού ψύξης με τον χάλυβα που παράγεται και μεταφέρεται στη Μηχανή Συνεχούς Χύτευσης (ΜΣΧ) του χαλυβουργείου (*direct splash - SL*).

Όπως φαίνεται και στον Πιν. 4.12 οι απώλειες αυτές, βάσει προδιαγραφών της Danieli εκτιμώνται περί του 1.5 % του ρυθμού ανακυκλοφορίας του νερού ψύξης RR ( $SL = RR \cdot 1.5 \% = 7.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Στον Πίνακα 4.18 παρουσιάζονται οι ποσότητες του νερού συμπλήρωσης  $MU_{actual}$  και οι κύκλοι συμπύκνωσης  $C_{actual}$ , καθώς και οι υπολογιζόμενες τιμές των πραγματικών απομαστεύσεων  $BD_{actual}$ , βάσει της εξ. (4 – 3):

**Πίνακας 4.18. Πραγματικές Απομαστεύσεις για το κύκλωμα ανακυκλοφορίας KW/KWR για το έτος 2006.**

KW/KWR	$MU_{actual}$ (AVG $\text{m}^3/\text{h}$ )	$C_{actual}$	$BD_{actual}$ (AVG $\text{m}^3/\text{h}$ )
ΜΗΝΑΣ			
Ιαν-06	9	2.8	3.3
Φεβ-06	15	2.9	5.2
Μαρ-06	13.5	3.6	3.7
Απρ-06	9	3.7	2.5
Μαΐ-06	17	3.5	4.8
Ιουν-06	12	2.6	4.6
Ιουλ-06	10.5	3.1	3.3
Αυγ-06	10.5	3.0	3.6
Σεπ-06	8	3.3	2.4
Οκτ-06	9	2.7	3.3
Νοε-06	14	2.8	4.9
Δεκ-06	11	3.5	3.2
<b>AVG 06</b>	<b>11.5</b>	<b>3.1</b>	<b>3.7</b>

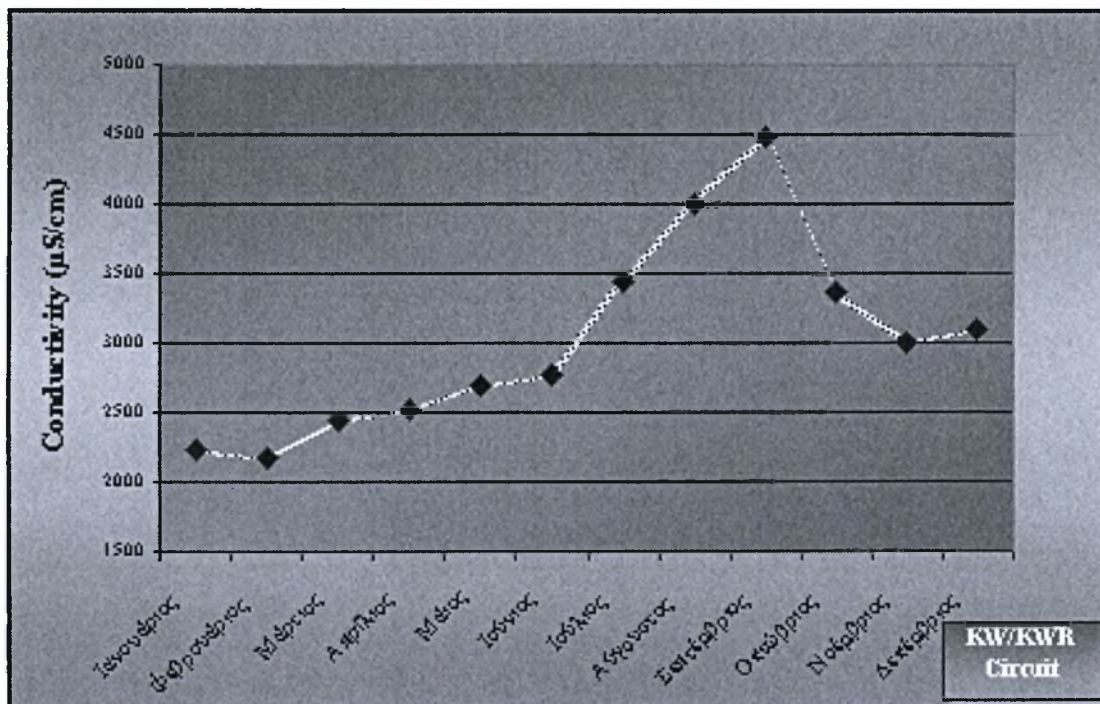
Στο Σχήμα 4.6 παριστάνονται οι συμπληρώσεις και οι απώλειες του νερού του κυκλώματος KW/KWR.



Σχήμα 4.6. Νερό Συμπλήρωσης και Απώλειες Νερού για το ανοικτό κύκλωμα KW/KWR για το έτος 2006.

Από την μελέτη του Σχήματος προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Η οριακή λειτουργία του εργοστασίου κατά τους Καλοκαιρινούς μήνες είναι εμφανής και για την περίπτωση του κυκλώματος KW – R. Κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, παρατηρείται μείωση του νερού συμπλήρωσης σε συνδυασμό με αύξηση των εκτιμώμενων απωλειών λόγω εξάτμισης. Ιδιαίτερα από τον μήνα Ιούλιο μέχρι τον Οκτώβριο, το νερό συμπλήρωσης οριακά φαίνεται να ισοφαρίζει το άθροισμα των εκτιμώμενων εξατμίσεων στον πύργο ψύξης και των πραγματικών απομαστεύσεων.
- Αποτέλεσμα της οριακής λειτουργίας είναι η αδυναμία πραγματοποίησης απομαστεύσεων κατά τη διάρκεια του Καλοκαιριού (Ιούνιος – Σεπτέμβριος) με αποτέλεσμα την ποιοτική επιβάρυνση του νερού όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.7 :



Σχήμα 4.7. Αγωγιμότητα νερού για το ανοικτό κύκλωμα KW/KWR για το έτος 2006.

## 5. Ποιότητα Νερού

Στο κεφάλαιο αυτό προσδιορίζεται η ποιοτική σύσταση τόσο του νερού συμπλήρωσης των κυκλωμάτων, όσο και των νερών που ανακυκλοφορούν μέσα σ' αυτά. Οι μέσες μηνιαίες τιμές της ποιότητας του νερού υπολογίστηκαν με βάση τις καθημερινές αναλύσεις που πραγματοποιούνται στο Χημείο του Εργοστασίου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με τις τιμές των προδιαγραφών της Danielli και από την σύγκριση προκύπτουν μεγάλες αποκλίσεις. Με βάση επίσης τα ποιοτικά αποτελέσματα του νερού και με την βοήθεια διαφόρων μεθόδων (απλών δεικτών κορεσμού, υπολογιστικού μοντέλου HYDRAQL, ισοζυγίων ασβεστίου και σιδήρου) επιχειρείται ο εντοπισμός ή/ και η επιβεβαίωση προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων.

Ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την εμφάνιση ή μη προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων στα κυκλώματα νερού ψύξης είναι η ποιότητα του νερού που εισέρχεται στα κυκλώματα (νερό συμπλήρωσης), ή/ και του νερού που ανακυκλοφορεί μέσα σ' αυτά (νερό ανακυκλοφορίας). Για την εκτίμηση της ποιότητας ενός δείγματος νερού είναι αναγκαία η γνώση της ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης του, δηλαδή οι τιμές των συγκεντρώσεων των διαφόρων συστατικών του (βλ. § 1.5). Η γνώση της ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης του νερού είναι πολύ σημαντική γιατί μεταξύ άλλων καθορίζει και τις μεθόδους επεξεργασίας που πρέπει να εφαρμοστούν, προκειμένου να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά και οι παράμετροι του. Ένα άλλο εργαλείο, που όπως είδαμε

χρησιμοποιείται για την εκτίμηση και την πρόβλεψη της τάσης του νερού για διάβρωση ή για δημιουργία επικαθίσεων, είναι ο υπολογισμός των διαφόρων δεικτών του νερού (water indices). Η διαδικασία του υπολογισμού (βλ. § 3.3.2) βασίζεται συντοίς άλλους και στην ακριβή γνώση κάποιων χαρακτηριστικών – παραμέτρων, που προκύπτουν από την ποιοτική και ποσοτική του ανάλυση.

Από τις πιο χαρακτηριστικές παραμέτρους της ποιότητας του νερού είναι η **σκληρότητα**, η **αλκαλικότητα** και το **pH** του. Όπως αναφέρθηκε και στην § 1.5 για τα ανόργανα συστατικά του νερού, η σκληρότητα (*Total Hardness*) εκφράζει την περιεκτικότητα ασβεστίου και μαγνησίου, ενώ αποτελεί την κύρια πηγή δημιουργίας επικαθίσεων. Η αλκαλικότητα (*M – Alkalinity*) αποτελεί μέτρο της περιεκτικότητας σε ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), σε όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ) και σε ιόντα υδροξυλίου ( $\text{OH}^-$ ), ενώ αποτελεί πηγή διάβρωσης σε γραμμές συμπυκνωμάτων. Τόσο η σκληρότητα, όσο και η αλκαλικότητα εκφράζονται συνήθως ως ppm  $\text{CaCO}_3$ . Το pH ως γνωστό ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου[3]. Μια άλλη σημαντική παράμετρος αποτελεί το **Σύνολο των Διαλυμένων Στερεών** (*TDS, Total Dissolved Solids*), που εκφράζει τη μάζα όλων των διαλυμένων στερεών σε mg/L ή ppm συνήθως. Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με την **Ειδική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα** (*Conductivity*), η οποία αποτελεί έκφραση της ενεργότητας των ιόντων του διαλύματος και εκφράζεται συνήθως σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετές σχέσεις της μορφής :

$$TDS = k \cdot \text{Αγωγιμότητα} \quad (5-1)$$

Όπου  $k$  : Συντελεστής αναλογίας. Για θαλασσινό νερό  $k = 0.9$ , ενώ για νερά με χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων  $k = 0.5$  [13,1]. Στις περισσότερες πηγές αναφέρεται ότι για φυσικά νερά μια καλή προσέγγιση δίνει  $k = 0.67$  [10,13,26,29,31]. Αυτή η τιμή ακολουθείται για την περίπτωση των νερών των κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου.



### 5.1. Ποιότητα Νερού Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου

Με βάση λοιπόν τις αναλύσεις που διενεργούνται σε καθημερινή βάση από το τμήμα του Χημείου της εταιρείας προέκυψαν οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των διαφόρων συστατικών του νερού συμπλήρωσης, που περιέχεται στην δεξαμενή 81C4311 (βλ. Σχ. 4.1). Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται για το έτος 2006 στον Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1. Ποιότητα Νερού Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων για το έτος 2006.

Παράμετροι	Μονάδες	MIN Values 06	MAX Values 06	AVG Values 06
Temperature	°C	12	33	23
pH		7.1	9.3	7.6
Conductivity	μS/cm	663	2150	1069.3
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	5	380	50.9
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	5	290	39.9
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	35	245	141.8
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	127.8	426	240
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18.9	47.6	36.0
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	-	-	-
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20.7	32.8	26.2
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	9.6	15.3	12.3
Total Iron	ppm Fe	0.01	2.1	0.2
Total Suspended Solids	ppm			
Total Dissolved Solids	ppm	444.2	1440.5	548.5

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην § 4.3.2. και όπως φαίνεται και στο Σχ. 4.1, η ποιότητα του νερού συμπλήρωσης που χρησιμοποιείται σ' όλα τα κυκλώματα του χαλυβουργείου είναι η ίδια, αφού η δεξαμενή του Χαλυβουργείου 81C4311 τροφοδοτεί και καλύπτει τις ανάγκες όλων των κυκλωμάτων του σε νερό συμπλήρωσης.

Όσον αφορά τα ανοικτά κυκλώματα νερού ψύξης CW – R και KW – R, οι αρχικές προδιαγραφές της Danieli που αφορούσαν το νερό συμπλήρωσης των κυκλωμάτων υπαγόρευαν την χρήση 100% απαλκαλιωμένου νερού, ένα ποσοστό 40% του οποίου να υφίσταται και αποσκλήρυνση. Για το κλειστό κύκλωμα QW – R το νερό συμπλήρωσης των απωλειών λόγω διαρροών προδιαγράφεται 100 % αποσκληρυνμένο, με μικρή δηλαδή τιμή σκληρότητας (<5 ppm CaCO<sub>3</sub>), για τον έλεγχο φαινομένων επικαθίσεων.

Η ποιότητα του νερού συμπλήρωσης που παρουσιάζεται στον Πιν. 5.1 αντιστοιχεί σε νερό 100% αποσκληρυνμένο και 45 – 50 % απαλκαλιωμένο. Η λύση του μερικώς απαλκαλιωμένου νερού συμπλήρωσης έναντι του ολικώς, που απαιτούν οι προδιαγραφές για τα ανοικτά κυκλώματα ακολουθείται αναγκαστικά καθώς ο απαλκαλιωτής μπορεί να διαχειρισθεί κατά μέσο όρο περίπου 70 m<sup>3</sup>/h. **Η αντικατάσταση επομένως του υπάρχοντος απαλκαλιωτή με έναν καινούργιο, που θα μπορούσε να αποδώσει περί τα 100 m<sup>3</sup>/h θα είχε σαν αποτέλεσμα μια ποιότητα νερού πιο κοντά στις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από την Danieli.**

Οι τυπικές αποκλίσεις (STDEV) των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης για το έτος 2006 καθώς και οι τιμές των συγκεντρώσεων που υπαγορεύουν οι προδιαγραφές παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Οι τυπικές αποκλίσεις των παραμέτρων του νερού είναι οι χαρακτηριστικές τιμές με τις οποίες εκφράζεται η διασπορά των τιμών ενός δείγματος. Από την μελέτη του Πίνακα, παρατηρούμε ότι η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται σαν νερό συμπλήρωσης στα κυκλώματα του Χαλυβουργείου είναι πολύ ευμετάβλητη, κυρίως λόγω της σκληρότητας (ολικής και ασβεστίου), των χλωριόντων και σε μικρότερο βαθμό της αλκαλικότητας.

Πίνακας 5.2. Τιμές Προδιαγραφών, μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις νερού συμπλήρωσης για το έτος 2006.

Παράμετροι	Μονάδες	προδιαγραφές DANIELI QW	προδιαγραφές DANIELI CW & KW	AVG Values 06	STDEV
Temperature	°C	15-20	15-20	23	6.5
pH		7.0-8.0	7.0-8.0	7.6	0.3
Conductivity	μS/cm	440	400-500	1069.3	264.4
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	<5	60-80	50.9	95.9
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	2-3	50-60	39.9	74.5
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	33	30-40	141.8	26.9
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	80	80-90	240	62.8
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50	50-70	36.0	8.7
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	-	-	-	-
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14	10-20	26.2	3.1
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	11	10-20	12.3	1.5
Total Iron	ppm Fe	<0.1	<0.1	0.2	0.4
Total Suspended Solids	ppm	<5	<5		
Total Dissolved Solids	ppm	270	250-300	548.5	189

Η διασπορά των τιμών των παραμέτρων που παρατηρείται, οφείλεται στην παροχή νερού μη σταθερής ποιότητας από τις γεωτρήσεις (χλωριόντα), αλλά μπορεί να συσχετίζεται και με την ευμετάβλητη λειτουργία του εργοστασίου (αλκαλικότητα, σκληρότητα) κάτω από οριακές συνθήκες. Σαν παράδειγμα, αναφέρεται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες, που η λειτουργία του εργοστασίου ως προς την παροχή του νερού συμπλήρωσης θεωρείται οριακή, όπως είδαμε στις § 4.4.2. και 4.4.3 του προηγούμενου Κεφαλαίου, η ύπαρξη απωλειών λόγω διαρροών κάνει ακόμα πιο μεγάλη την ανάγκη για άμεση παροχή φρέσκου νερού προς τα κυκλώματα. Σε τέτοιες καταστάσεις και συνθήκες λειτουργίας, προτιμάται το φρέσκο νερό των γεωτρήσεων να διοχετεύεται απ' ευθείας στο Χαλυβουργείο μέσω του ρεύματος 7 του Σχ. 4.1, χωρίς τη μεσολάβηση των «χρονοβόρων» διεργασιών της απαλκαλίωσης και της αποσκλήρυνσης.

Παρατηρώντας και συγκρίνοντας τις μέσες τιμές του Πιν. 5.2 με αυτές των προδιαγραφών είναι εμφανές ότι η αγωγιμότητα του νερού συμπλήρωσης (και συνεπώς και η τιμή του Συνόλου των Διαλυμένων Στερεών – TDS) ξεπερνάει κατά πολύ (~ 143%) αυτή των προδιαγραφών και για τα τρία κυκλώματα. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στα νερά της πομόνας S3 που παρουσιάζουν μεγάλες τιμές αγωγιμότητας όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.3:

Πίνακας 5.3. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερού Πομωνών για το έτος 2006.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ		ΠΟΜΩΝΑ			
		E1	E2	S1	S3
Παροχή	m <sup>3</sup> /h	40	15	35	45
pH		7.7	7.9	7.6	7.6
Conductivity	μS/cm	792	529	1310	1990
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	340	250	525	470
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	328	215	475	350
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	202.5	187.5	194	249
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	111	28	267	433
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14	19	28.6	78.3
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	<0.5	<0.5	<2.5	<2.5
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	30.8	31.4	17	11.6
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	15.7	11	14.6	10
Total Iron	ppm Fe	<0.1	<0.1	<0.1	0.5
Total Suspended Solids (TSS)	ppm	<5	14	8	<5
Total Dissolved Solids (TDS)	ppm	390	200	750	1000

Στον ίδιο ακριβώς λόγο (πομόνα S3) μπορεί να αποδοθεί και η αυξημένη κατά 205 % τιμή των χλωριόντων. Τα χλωριόντα μαζί με την αγωγιμότητα αποτελούν δύο από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της διάβρωτικότητας του νερού συμπλήρωσης.

Η αλκαλικότητα του νερού συμπλήρωσης, που τροφοδοτείται στα κυκλώματα του χαλυβουργείου παρουσιάζεται αυξημένη κατά 305 % σε σχέση με την τιμή που υπαγορεύουν οι προδιαγραφές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην περιορισμένη δυνατότητα του τωρινού απαλκαλιωτή να διαχειριστεί τις απαιτούμενες ποσότητες με βάση τις προδιαγραφές. Επίσης, παρόλο το γεγονός της ολικής

αποσκλήρυνσης του νερού συμπλήρωσης, η ολική σκληρότητα του παραμένει σε υψηλά επίπεδα όσον αφορά τις προδιαγραφές του κλειστού κυκλώματος (αύξηση κατά 920 %). Για το κλειστό κύκλωμα η Danieli συνιστούσε την παροχή νερού ψύξης 100 % αποσκληρυμένου, το οποίο όμως πριν την αποσκλήρυνση του έχει υποστεί στο σύνολο του απαλκαλίωση. Αυτό γιατί κατά την απαλκαλίωση μειώνεται και ένα μέρος της σκληρότητας του νερού. Στην πράξη, μόνο ένα κλάσμα του νερού (45 – 50 %) υφίσταται απαλκαλίωση πριν από την ολική του αποσκλήρυνση. Η αυξημένη αλκαλικότητα σε συνδυασμό με την αυξημένη σκληρότητα (για το κλειστό κύκλωμα QW/QWR) καταδεικνύει την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων επικαθίσεων. Οι αποκλίσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης από τις τιμές των προδιαγραφών και η σημασία που αυτές μπορεί να έχουν στην εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης ή/ και επικαθίσεων συνοψίζονται στον Πίνακα 5.4 :

**Πίνακας 5.4. Αποκλίσεις Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης από Προδιαγραφές.**

Παράμετρος	Μονάδες	Απόκλιση % επί της Προδιαγραφής	Πιθανή Αιτία	Προβλήματα που Προκαλούνται
Conductivity	μS/cm	+ 143	Χρήση πομόνας S3 και S1	Κυρίως Διάβρωση, Επικαθίσεις
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	+ 205	Χρήση πομόνας S3	Διάβρωση
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	+ 920 *	Υψηλές Τιμές σκληρότητας του νερού γεωτρήσεων, Αδυναμία απαλκαλίωσης του συνόλου του νερού πριν την αποσκλήρυνση	Επικαθίσεις
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	+ 305 *	Αδυναμία Απαλκαλίωσης Νερού Τροφοδοσίας	Κυρίως Επικαθίσεις

\* Οι αποκλίσεις αφορούν τιμές προδιαγραφών του κλειστού κυκλώματος QW/ QWR

Στον Πίνακα 5.4 αναγράφονται και οι πιθανές αιτίες της εμφάνισης των αυξημένων τιμών κάποιων ποιοτικών παραμέτρων. Όπως είναι εμφανές οι αποκλίσεις των χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης από τις προδιαγραφές της Danieli, οφείλονται πρωτίστως στην κακή ποιότητα του νερού που τροφοδοτείται από τις γεωτρήσεις και δευτερευόντως στην μερική απαλκαλίωση του (ποσοστό 45 – 50 %

για το νερό του χαλυβουργείου έναντι 100 % βάση προδιαγραφών). Είναι ενδιαφέρον επομένως να εξεταστεί κατά πόσο ένας νέος απαλκαλιωτής που θα παρουσίαζε τον ίδιο βαθμό απαλκαλίωσης με τον τωρινό αλλά επιπλέον θα μπορούσε να επεξεργαστεί τις επιθυμητές ποσότητες νερού (παροχή τροφοδοσίας 100 – 110 m<sup>3</sup>/h περίπου), θα μπορούσε να μας δώσει τιμές ποιοτικής σύστασης εντός των ορίων που προβλέπονται από τις προδιαγραφές.

### 5.1.1. Νερό Συμπλήρωσης Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυνμένο)

Η εγκατάσταση λοιπόν ενός νέου απαλκαλιωτή με δυνατότητα παροχής 100% απαλκαλιωμένου νερού συμπλήρωσης θα έδινε για το κλειστό κύκλωμα QW/QWR τις τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών που αναφέρονται στον Πίνακα 5.5 :

Πίνακας 5.5. Νερό Συμπλήρωσης Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυνμένο)

Παράμετρος	Μονάδες	Νερό Πομωτών	Νερό Συμπλήρωσης QW/QWR (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυνμένο)	Νερό Συμπλήρωσης QW/QWR Βάση Προδιαγραφών	Απόκλιση % επί της Προδιαγραφής
Παροχή	AVG m <sup>3</sup> /h	135	4.9	~ 2	+ 145
pH		7.7	7.7	7.0-8.0	
Conductivity	μS/cm	1296.4	857	440	+ 95
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	421.3	36.3	<5	+ 626
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	360.9	26.9	2-3	+ 797
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	214.1	48.7	33	+ 47.5
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	240	237.8	80	+ 197
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	41	39.7	50	
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	< 2.5	< 2.5	-	
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22.9	23.5	14	
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	13.0	12.6	11	
Total Iron	ppm Fe	< 0.3	0.15	<0.1	
TSS	ppm	< 7	< 5	< 5	
TDS	ppm	868.6	574.1	270	+ 113

Μελετώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν, καθίσταται εμφανές ότι ακόμα και αν υπήρχε η δυνατότητα της 100 % απαλκαλίωσης του νερού συμπλήρωσης του κλειστού κυκλώματος, κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά του (έντονες τιμές της 4<sup>ης</sup> στήλης) θα εξακολουθούσαν να υπερβαίνουν τα όρια των προδιαγραφών της Danieli. Βέβαια, οι υπερβάσεις και οι αποκλίσεις των τιμών (6<sup>η</sup> στήλη) είναι τώρα μικρότερες, απ' ότι στην περίπτωση του μερικώς απαλκαλιωμένου νερού. **Ωστόσο είναι εμφανές ότι με τις διαθέσιμες μεθόδους επεξεργασίας του, το νερό των γεωτρήσεων δεν μπορεί να εξασφαλίσει την ποιότητα των νερών που προδιαγράφει η κατασκευάστρια εταιρεία Danieli.** Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πολύ υψηλή τιμή των **χλωριόντων**, η οποία δεν μπορεί να ελαττωθεί με τις ήδη διαθέσιμες διεργασίες επεξεργασίας του νερού (διήθηση, απαλκαλίωση και αποσκλήρυνση). Για την απομάκρυνση των χλωριόντων χρησιμοποιείται συνήθως η λύση της **αντίστροφης ώσμωσης** (reverse osmosis), της **ηλεκτροδιαπίδυσης** (electrodialysis), της **εξάτμισης** (evaporation) και της **ιοντοεναλλαγής** (ion exchange).

### **5.1.2. Νερό Συμπλήρωσης Ανοικτών Κυκλωμάτων CW/CWR και KW/KWR (60 % απαλκαλιωμένο, 40 % αποσκληρυσμένο)**

Θεωρώντας ότι το νερό συμπλήρωσης των ανοικτών κυκλωμάτων απαλκαλιώνεται στο σύνολο της ποσότητας του (100 %) και κατόπιν ένα ποσοστό αυτού αποσκληρύνεται (40 %), προκύπτουν οι κάτωθι τιμές των ποιοτικών του χαρακτηριστικών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6 :

Παράμετρος	Μονάδες	Νερό Ποικονών	Νερό Συμπλήρωσης CW - R & KW - R (60 % απαλκαλιωμένο, 40 % αποσκληρυνμένο)	Νερό Συμπλήρωσης CW - R & KW - R Βάσει Προδιαγραφών	Απόκλιση % επί της Προδιαγραφής
Παροχή	m <sup>3</sup> /h	135	68.5	89	- 23
pH		7.7	7.8	7.0-8.0	
Conductivity	μS/cm	1296.4	875.0	400-500	+ 75
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	421.3	159.2	60-80	+ 99
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	360.9	124.7	50-60	+ 108
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	214.1	47.6	30-40	+ 19
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	240	237.8	80-90	+ 164
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	41	39.7	50-70	
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	< 2.5	<2.5	-	
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub>	22.9	23.5	10-20	
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	13.0	12.6	10-20	
Total Iron	ppm Fe	< 0.3	0.11	<0.1	
TSS	ppm	< 7	<5	<5	
TDS	ppm	868.6	586.2	250-300	+ 95.4

Πίνακας 5.6. Νερό Συμπλήρωσης Ανοικτών Κυκλωμάτων CW/CWR & KW/KWR (60 % απαλκαλιωμένο, 40 % αποσκληρυνμένο)

Και στην περίπτωση των ανοικτών κυκλωμάτων, ακολουθώντας την προτεινόμενη, βάσει προδιαγραφών επεξεργασία για το νερό συμπλήρωσης, η τιμή της αγωγιμότητας παρουσιάζεται αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη που υπαγορεύουν οι προδιαγραφές. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη τιμή της σκληρότητας και των χλωριόντων. Η τιμή της συνολικής αλκαλικότητας βρίσκεται σε ελεγχόμενα επίπεδα. Επομένως το νερό συμπλήρωσης λόγω των χλωριόντων αναμένεται να παρουσιάσει διαβρωτική τάση, κατά την διέλευση του από τα ανοικτά κυκλώματα του Χαλυβουργείου.

Συμπερασματικά, τόσο για το κλειστό όσο και για τα ανοικτά κυκλώματα, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού συμπλήρωσης (45 – 50 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυνμένο) που τροφοδοτείται βρίσκονται εκτός των ορίων τιμών που ορίζει ο σχεδιασμός και η καλή λειτουργία του συστήματος. Με άλλα λόγια τα κυκλώματα του νερού ψύξης τροφοδοτούνται με μια



ποιότητα νερού συμπλήρωσης σαφώς πιο υποβαθμισμένης σε σχέση μ' αυτή που θα όριζε η εύρυθμη λειτουργία τους. Αυτό οφείλεται τόσο στο επιβαρυνόμενο ποιοτικά νερό των πομωτών (χλωριόντα κτλ) όσο και στην αδυναμία επεξεργασίας του νερού βάσει προδιαγραφών με τον υπάρχοντα εξοπλισμό (αδυναμία απαλκαλιωτή). Με την εγκατάσταση ενός νέου απαλκαλιωτή με μεγαλύτερη δυνατότητα επεξεργασίας νερού, οι αποκλίσεις των τιμών από τα όρια των προδιαγραφών μειώνονται (και μερικές εξαλείφονται). Ωστόσο και σ' αυτή την περίπτωση (100 % απαλκαλιωμένο) τα κυκλώματα τροφοδοτούνται με νερό ψύξης, που ποιοτικά (αλλά και ποσοτικά) βρίσκεται εκτός προδιαγραφών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποτελεί την αιτία για την εμφάνιση ποικίλων προβλημάτων όπως διάβρωσης, επικαθίσεων και ρύπανσης των νερών από την δράση μικροοργανισμών.

Δεδομένου ότι σε αντίθεση με τον απαλκαλιωτή, οι δίδυμοι αποσκληρυντές του χαλυβουργείου επαρκούν για τις ανάγκες αποσκλήρυνσης του νερού συμπλήρωσης, έχει ενδιαφέρον να εξετασθεί η λύση της εγκατάστασης ενός νέου απαλκαλιωτή (δυνατότητα σε 100 % απαλκαλιωμένο νερό συμπλήρωσης) σε συνδυασμό με την ήδη υπάρχουσα λειτουργία των αποσκληρυντών (δυνατότητα 100 % αποσκληρυμένου νερού συμπλήρωσης).

### **5.1.3. Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυμένο)**

Η σύσταση του νερού συμπλήρωσης (100 % απαλκαλιωμένου, 100 % αποσκληρυμένου) και η σύγκριση του με τις τιμές των προδιαγραφών για το κλειστό κύκλωμα παρουσιάζονται στον Πιν. 5.5. Ο Πίνακας 5.7 παρουσιάζει τη σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού με πλήρη απαλκαλίωση και αποσκλήρυνση για τα ανοικτά κυκλώματα :

Πίνακας 5.7. Νερό Συμπλήρωσης Ανοικτών Κυκλωμάτων CW/CWR &amp; KW/KWR (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυνμένο)

Παράμετροι	Μονάδες	CW – R & KW - R (100 % απαλκαλιωμένο, 100 % αποσκληρυνμένο)	CW – R & KW - R Βάση Προδιαγραφών
Παροχή	m <sup>3</sup> /h	68.5	89
pH		7.7	7.0-8.0
Conductivity	μS/cm	857	400-500
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	36.3	60-80
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	26.9	50-60
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	48.7	30-40
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	237.8	80-90
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	39.7	50-70
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	<2.5	-
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23.5	10-20
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	12.6	10-20
Total Iron	ppm Fe	0.15	<0.1
TSS	ppm	<5	<5
TDS	ppm	574.1	250-300

Για την περίπτωση αυτή με εξαίρεση την τιμή των χλωριόντων, τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τις τιμές που υπαγορεύονται από τις προδιαγραφές. Η αυξημένη τιμή της αγωγιμότητας (και του TDS) οφείλεται στα χλωριόντα. Με εξαίρεση την πιθανή εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης, εξ' αιτίας της πολύ καλής συμφωνίας των χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης στα ανοικτά κυκλώματα με τα αντίστοιχα των προδιαγραφών, η προσοχή και η προσπάθεια θα στρεφόταν αποκλειστικά στην καλή λειτουργία του κλειστού κυκλώματος. Επομένως, με την εγκατάσταση ενός νέου απαλκαλιωτή, με αυξημένη σε σχέση με τον τωρινό, δυνατότητα επεξεργασίας σε νερό συμπλήρωσης (παροχή νερού 100 % απαλκαλιωμένου) και σε συνδυασμό πάντα με την παροχή 100 % αποσκληρυνμένου νερού από τους δίδυμους αποσκληρυντές, τα ανοικτά κυκλώματα θα ακολουθούσαν σε πολύ μεγάλο ποσοστό τις ποιοτικές προδιαγραφές τους, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία τους. Για το κλειστό κύκλωμα λόγω της κακής ποιότητας των νερών των πομωτών, θα απαιτούνταν η λύση της χημικής επεξεργασίας (προσθήκη χημικών ουσιών) του νερού.

Με την τωρινή λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας και την ποσοτική και ποιοτική απόκλιση των νερών συμπλήρωσης από αυτά των προδιαγραφών, είναι αναγκαία η εφαρμογή ενός προγράμματος χημικής επεξεργασίας του νερού για την αντιμετώπιση των προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων. Για το λόγο αυτό η εταιρεία SOVEL A.E. συνεργάζεται με την εταιρεία Nalco Ελλάς, με στόχο την κατάρτιση και υλοποίηση ενός προγράμματος χημικής επεξεργασίας του ανακυκλοφορούμενου νερού ψύξης.

#### 5.1.4 Δείκτες για την Εκτίμηση της Συμπεριφοράς του Νερού Συμπλήρωσης του Χαλυβουργείου

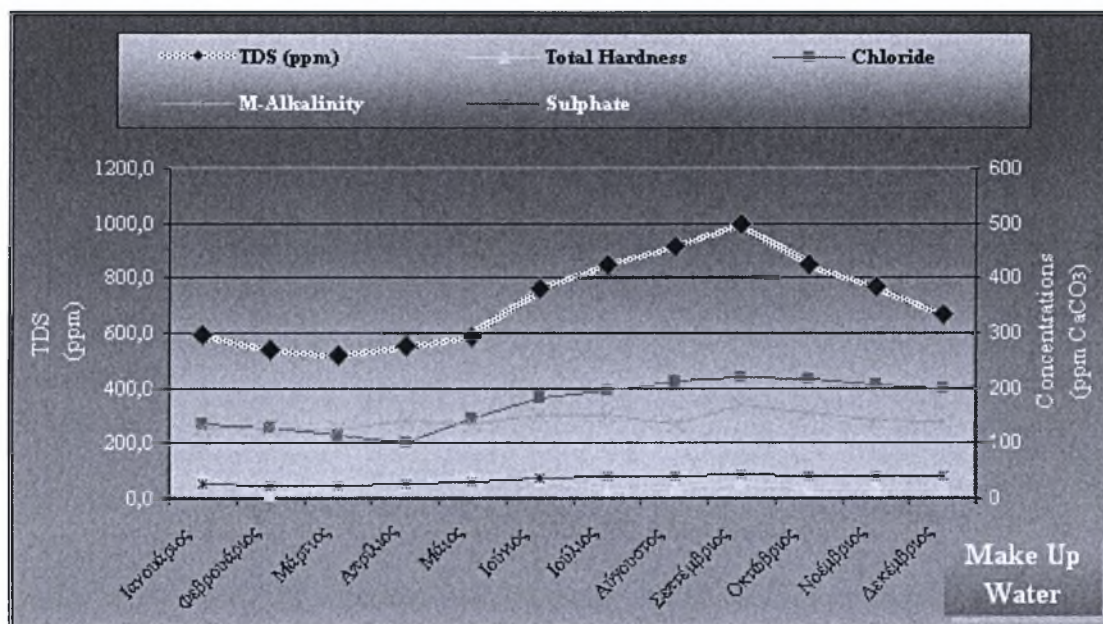
Όπως ήδη αναφέρθηκε στην § 3.3.2 για την εκτίμηση των διαβρωτικών τάσεων ή των τάσεων για επικαθίσεις του νερού χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες με βάση την ποιοτική του σύσταση. Με βάση λοιπόν της μέσες ετήσιες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού συμπλήρωσης που παρουσιάστηκαν στον Πιν. 5.1, προκύπτουν οι κάτωθι τιμές των δεικτών συμπεριφοράς του :

**Πίνακας 5.8. Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Συμπλήρωσης για το έτος 2006.**

Νερό Συμπλήρωσης Κυκλωμάτων Χαλυβουργείου		AVG Values 06	Τιμές Δεικτών	Συμπεριφορά Νερού
Παράμετρος	Μονάδες			
Temperature	°C	23.2	Langelier Saturation Index LSI -0.62	No Scaling, Moderate Aggressiveness
pH		7.6		
Conductivity	μS/cm	1069.3	Ryznar Stability Index RSI 8.88	No Scaling, Strong Aggressiveness
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	50.9		
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	39.9		
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	141.8	Puckorius Scaling Index PSI 8.82	No Scaling, Strong Aggressiveness
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	240		
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	36.0		
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>			
Total Iron	ppm Fe	0.2	Larson Index LI	Corrosive
TSS	ppm	<5	2.69	
TDS	ppm	548.5		

Επίσης, ο βαθμός υπερκορεσμού του πιο κοινού τύπου καθαλάτωσης, του ασβεστίτη για την ποιοτική σύσταση του νερού συμπλήρωσης που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.8 υπολογίστηκε με την βοήθεια του μοντέλου HYDRAQL και βρέθηκε ίσος με 0.16. Επομένως, δεν αναμένονται προβλήματα σχηματισμού ασβεστίτη στην δεξαμενή 81C4311. Κάποιες τιμές του βαθμού υπερκορεσμού πυριτικών ενώσεων ( $ZnSiO_3$ ,  $H_2SiO_3$ ) βρέθηκαν μεγαλύτερες της μονάδας, αλλά η κινητική της αντίδρασης σχηματισμού και καθίζησης του άλατος είναι εξαιρετικά αργή. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στο Παράρτημα Β' της παρούσας εργασίας.

Από την μελέτη του Πίνακα 5.8 παρατηρείται μια συμφωνία των δεικτών ως προς τη διαβρωτική τάση του νερού συμπλήρωσης. Επιπλέον οι δείκτες Ryznar και Puckorius καταμαρτυρούν μια ισχυρή διαβρωτική συμπεριφορά σε αντίθεση με τον δείκτη Langelier κατά τον οποίο η διαβρωτική συμπεριφορά του νερού παρουσιάζεται ως ήπια. Επομένως, αν το νερό συμπλήρωσης κυκλοφορούσε στα κυκλώματα χωρίς την μεσολάβηση κάποιας χημικής επεξεργασίας του (προσθήκη αναστολέων διάβρωσης ή/ και επικαθίσεων), θα ήταν πολύ πιθανή η εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης των αγωγών. **Μια πιθανή εξήγηση της συμπεριφοράς αυτής του νερού αποτελεί η υψηλή τιμή των χλωριόντων, τιμή η οποία δεν είναι δυνατό να ελαττωθεί με τις ήδη υπάρχουσες μεθόδους επεξεργασίας του νερού συμπλήρωσης (διήθηση, απαλκαλίωση, αποσκλήρυνση) πριν από την τροφοδοσία του στα κυκλώματα ψύξης του χαλυβουργείου.** Αυτό γίνεται περισσότερο εμφανές στο Σχήμα 5.1 που παριστάνει τις μεταβολές των μέσων μηνιαίων τιμών του Συνόλου των Διαλυμένων Σωματιδίων ( $TDS \propto \text{Αγωγιμότητα}$ ) και των χλωριόντων του νερού συμπλήρωσης για το έτος 2006.



Σχήμα 5.1. Μεταβολή των μέσων μηνιαίων τιμών του Συνόλου των Διαλυμένων Στερεών (TDS) του νερού συμπλήρωσης για το έτος 2006.

## 5.2. Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού στα Κυκλώματα του Χαλυβουργείου

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανακυκλοφορούμενου νερού των κυκλωμάτων του χαλυβουργείου προκύπτουν από τις αναλύσεις του τμήματος του Χημείου του Εργοστασίου που διεξάγονται σε καθημερινή βάση.

### 5.2.1. Ανακυκλοφορούμενο Νερό Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR

Οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού που ανακυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα QW – R παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και οι τιμές που υπαγορεύει η Danieli για τις διάφορες ποιοτικές παραμέτρους.

Πίνακας 5.9. Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006.

Παράμετροι	Μονάδες	Προδιαγραφές Danieli QW/QWR	MIN Values 06	MAX Values 06	AVG Values 06
Temperature	°C	35*	33	44	38
pH		8.5 - 9	7.5	9.4	8.5
Conductivity	μS/cm	<1000	845	2410	1315.5
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	10 - 20	15	175	66.2
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	10 - 15	10	130	48.3
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	200 - 300	105	205	170
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	80 - 90	135	419	240
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50 - 60	19.3	48.2	36
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>		0	275	65.2
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10 - 20	11	254.6	76.1
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	10 - 20	9.4	75	24.0
Total Iron	ppm Fe	<0.5	0.02	1.9	0.4
TSS	ppm	10 - 20	0.2	17.8	2.5
TDS	ppm	<500	566	1615	881.3

\* Η θερμοκρασία αναφέρεται στο νερό που βρίσκεται εντός της δεξαμενής 81C4302 του κυκλώματος

Παρατηρώντας τις μέσες τιμές του πίνακα (6<sup>η</sup> στήλη), συμπεραίνουμε πως και αυτές δεν ακολουθούν τις προδιαγραφές, κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού και οι τιμές του νερού συμπλήρωσης, βρίσκονται εκτός των αντίστοιχων προδιαγραφών.

#### Χημική Επεξεργασία κυκλώματος OW/OWR

Η χημική επεξεργασία του κυκλώματος συνίσταται στην προσθήκη νιτρωδών οξειδωτικών μέσων σε συνδυασμό με αζόλες (*nitrite – azoles blends*) που προκαλούν παθητικοποίηση του σιδήρου, και στην προσθήκη βιοκτόνων για τον προληπτικό έλεγχο των μικροοργανισμών που τροφοδοτούνται ή/ και αναπτύσσονται στο κύκλωμα.

Τα νιτρώδη ωστόσο πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν σαν ανοδικά αντιδιαβρωτικά στο 2<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2006, ενώ μέχρι τότε χρησιμοποιήθηκαν για τον ίδιο σκοπό πυριτικά πρόσθετα.

Σαν βιοκτόνο χρησιμοποιήθηκε *ισοθειαζολίνη*.

Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Ανακυκλοφορούμενου Νερού κυκλώματος QW/QWR

Επιχειρώντας να προβλέψουμε την συμπεριφορά του ανακυκλοφορούμενου στο κύκλωμα νερού ως προς την εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης ή/ και επικαθίσεων, δουλεύοντας με παρόμοιο τρόπο όπως και στην περίπτωση του νερού συμπλήρωσης, υπολογίζονται οι δείκτες του Πίνακα 5.10. Οι τελευταίοι υπολογίστηκαν με βάση τις μέσες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού που παρουσιάστηκαν στον Πιν. 5.9.

**Πίνακας 5.10. Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Ανακυκλοφορίας Κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006.**

Νερό Ανακυκλοφορίας Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR		AVG Values 06	Τιμές Δεικτών	Συμπεριφορά Νερού
Παράμετρος	Μονάδες			
Temperature	°C	38	Langelier Saturation Index LSI 0.7	Lightly Scaling Water
pH		8.5		
Conductivity	μS/cm	1315.5	Ryznar Stability Index RSI 7.1	No Scaling, Moderate Aggressiveness
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	66.2		
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	48.3		
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	170	Puckorius Scaling Index PSI 7.8	No Scaling, Moderate Aggressiveness
Chloride	ppm Cl <sup>-</sup>	240		
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	36	Larson Index LI	Corrosive
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	65.2		
Total Iron	ppm Fe	0.4		
TSS	ppm	2.5	2.2	
TDS	ppm	881.3		

Παρατηρώντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα και τις αντίστοιχες συμπεριφορές του νερού που αυτές εκφράζουν, διαπιστώνουμε μια διαφωνία μεταξύ των δεικτών. Οι δείκτες RSI, PSI και LI μαρτυρούν μια διαβρωτική τάση του ανακυκλοφορούμενου νερού, ενώ η τιμή του LSI παρουσιάζει μια μικρή τάση του νερού προς σχηματισμό αποθέσεων. Όπως αναφέρθηκε στην § 3.3.2, εκτός των μειονεκτημάτων που εμφανίζουν όλοι οι παραπάνω δείκτες και οφείλονται στο

γεγονός ότι κατά τον υπολογισμό τους δεν λαμβάνονται υπ' όψιν οι συνδυασμοί – δεσμοί (ion pairs – bound ions) των ιόντων στο νερό, οι δείκτες αυτοί, με εξαίρεση πιθανώς του Ryznar, εμφανίζουν και μια μεγάλη αδυναμία να εκφράσουν την πραγματική τάση του νερού όταν το τελευταίο υφίσταται χημική επεξεργασία, με την προσθήκη κυρίως ουσιών αναστολής επικαθίσεων. Για την σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα πρέπει τα όρια τιμών των δεικτών, που εκφράζουν τις διάφορες τάσεις του νερού να μεταβληθούν.

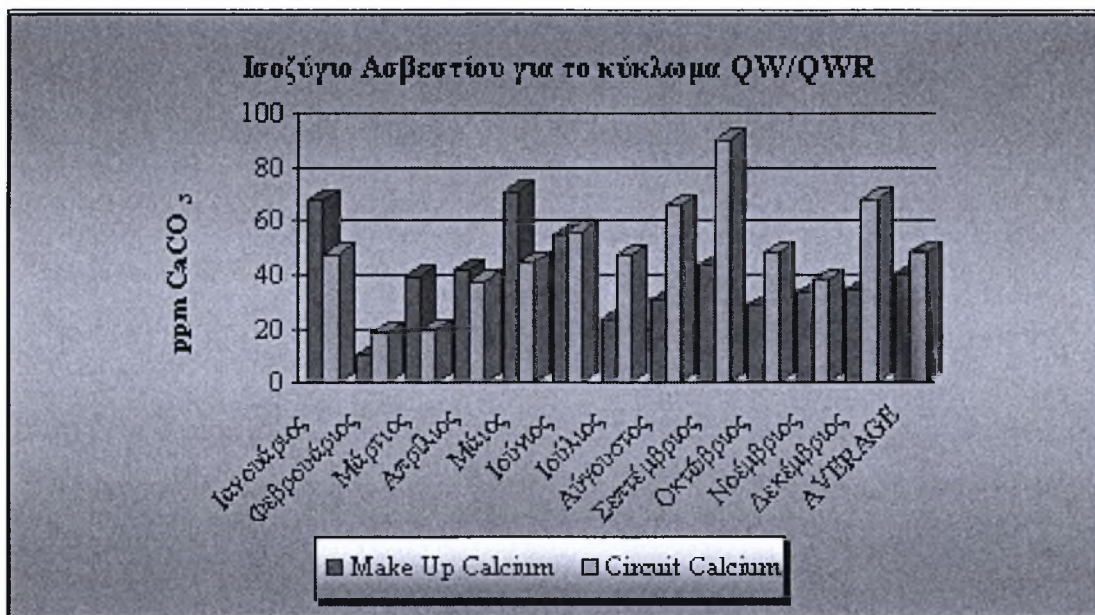
Για νερά θερμοκρασίας 48°C περίπου, στα οποία προστίθενται συνήθεις ουσίες αναστολής επικαθίσεων (π.χ. πολυφωσφορικά, πολυακρυλικά) και τα οποία παρουσιάζουν μικρές συγκεντρώσεις θεικών ιόντων (low sulfate waters) έχει αναφερθεί ότι για τον σχηματισμό επικαθίσεων CaCO<sub>3</sub>, η τιμή του LSI θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2.5 με 2.8 ενώ αυτή των RSI και PSI μικρότερη από 4.0. Οι τιμές αυτές των δεικτών αντιστοιχούν σε μια τιμή του βαθμού υπερκορεσμού, ίση με 150 περίπου [3,20,21]. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να ερμηνευθεί και με όρους της κινητικής της αντίδρασης. **Επομένως, καθίσταται εμφανές ότι ο χρόνος επαγωγής IT που μεσολαβεί μέχρι τον σχηματισμό των κρυστάλλων και την ανάπτυξη τους εξαρτάται, συν τοις άλλοις, από τον βαθμό (υπερ)κορεσμού S.**

Οι θερμοκρασίες επιστροφής του νερού, μετά την διέλευση και την ψύξη των χρηστών του κλειστού κυκλώματος, έχουν μια μέση τιμή ίση με 48 °C περίπου (§ 4.3.1). Επομένως, αν δεχτούμε ότι η περίπτωση του ανακυκλοφορούμενου νερού του κλειστού κυκλώματος QW/QWR ανήκει σ' αυτήν την κατηγορία, δεν αναμένεται ο σχηματισμός επικαθίσεων CaCO<sub>3</sub>, με βάση τις τιμές του Δεικτών κορεσμού του Langelier (*Langelier Saturation Index*).

Ένας εναλλακτικός τρόπος για την πρόγνωση φαινομένων καθαλατώσεων ασβεστίτη, είναι και η σύγκριση των τιμών του ασβεστίου (σε ppm CaCO<sub>3</sub>) στο νερό συμπλήρωσης (Make Up Calcium) και στο ανακυκλοφορούμενο νερό του κυκλώματος (Circuit Calcium), που παριστάνεται στο Σχ. 5.2. Παρατηρείται ότι μέχρι τον Ιούνιο (με εξαίρεση τον Φεβρουάριο), οι τιμές του ασβεστίου στο νερό συμπλήρωσης που τροφοδοτεί το κύκλωμα είναι μεγαλύτερες από αυτές που μετρώνται στο ανακυκλοφορούμενο νερό. Αυτό θα μπορούσε να αποτελεί ένδειξη ότι μέρος του ασβεστίου κατακάθεται με αποτέλεσμα τις μικρότερες τιμές του στο νερό που ανακυκλοφορεί στο κύκλωμα. Αυτή η διαφορά μηδενίζεται κατά τον μήνα



Ιούνιο, ενώ από τον Ιούλιο και μετά οι τιμές του ασβεστίου γίνονται μεγαλύτερες στο νερό που ανακυκλοφορεί.



Σχήμα 5.2. Ισοζύγιο Ασβεστίου για το κύκλωμα QW/QWR για το έτος 2006.

Από το τμήμα του Χημείου επιβεβαιώθηκε ότι κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> εξαμήνου του 2006, οι «μάρτυρες διάβρωσης» έδειξαν ότι υπήρξε σημαντική τάση του νερού για επικαθίσεις. Ωστόσο ο Δείκτης του Langelier δεν προβλέπει καμιά αυξημένη τάση του νερού για καθαλατώσεις ασβεστίτη το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Πιν. 5.11). Επομένως, είτε η ύπαρξη των επικαθίσεων σχετίζεται με την απουσία χημικών ουσιών, που επιδρούν ανασταλτικά προς την ανάπτυξη κρυστάλλων ασβεστίτη (*scale inhibitors*), είτε οι επικαθίσεις που παρατηρούνται δεν αποτελούνται από ασβεστίτη, είτε δεν πρόκειται για καθαλατώσεις, αλλά για άλλου είδους επικαθίσεις (μικροοργανισμοί, σωματιδιακές επικαθίσεις).

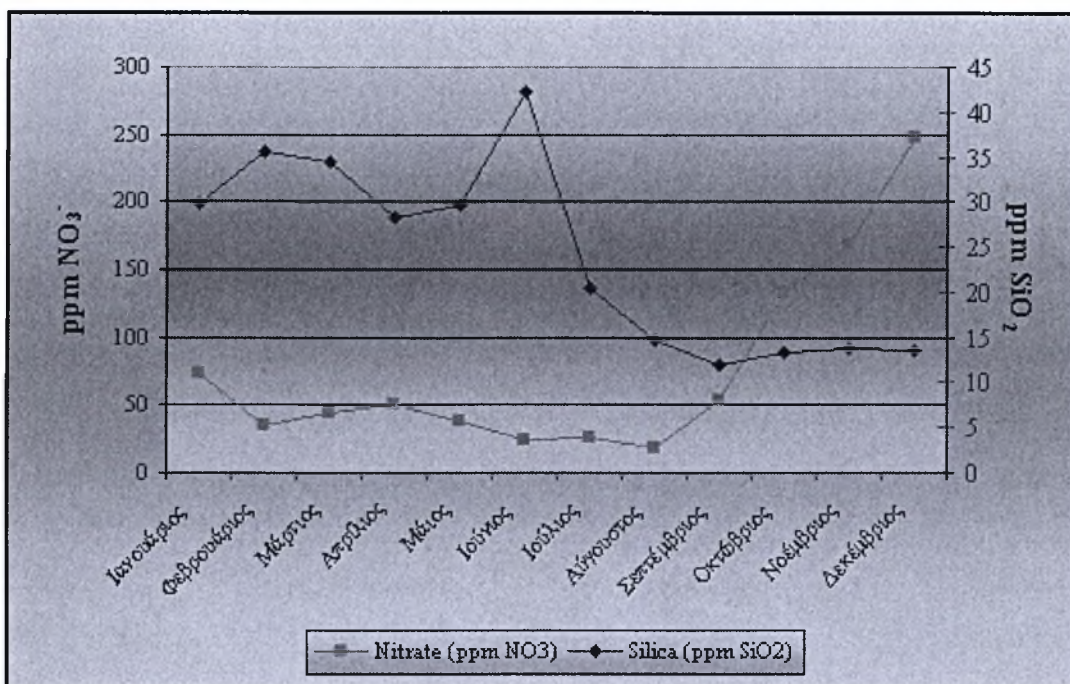
Στον Πίνακα 5.11 παράλληλα με τις τιμές των Δεικτών του Langelier και του Ryznar, παρουσιάζονται στην δεύτερη στήλη και οι τιμές του βαθμού υπερκορεσμού του ασβεστίτη για το ίδιο χρονικό διάστημα. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα HYDRAQL. Το πρόγραμμα αυτό υπερτερεί ως προς τον βαθμό αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του, έναντι της χρήσης των «απλών» δεικτών, γιατί

λαμβάνει υπόψη και τις αλληλεπιδράσεις των ιόντων του νερού (*ion bounds*). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά δεν διαφαίνεται κάποια ιδιαίτερη τάση για αποθέσεις ασβεστίτη κατά το πρώτο εξάμηνο του 2006. Ωστόσο είναι σαφές πως για τους περισσότερους μήνες (πλην του Ιανουαρίου), η τιμή του βαθμού υπερκορεσμού είναι μεγαλύτερη της μονάδας, γεγονός που σε συνδυασμό με την απουσία αναστολέων επικαθίσεων μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό καθαλατώσεων ασβεστίτη.

**Πίνακας 5.11. Δείκτες Langelier και Ryznar και Βαθμός Υπερκορεσμού ασβεστίτη για το νερό ψύξης του κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006.**

QW/QWR			
Μήνας	Δείκτης Langelier <i>LSI</i>	Βαθμός Υπερκορεσμού <i>S</i> Ασβεστίτη	Δείκτης Ryznar <i>RSI</i>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0.1	0.93	7.9
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0.6	2.30	7.7
ΜΑΡΤΙΟΣ	0.7	2.90	7.5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0.7	3.17	7.2
ΜΑΙΟΣ	0.6	2.33	7.3
ΙΟΥΝΙΟΣ	1.0	5.11	6.7
ΙΟΥΛΙΟΣ	0.6	2.24	7.2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0.8	3.01	6.8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0.8	3.22	6.7
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0.5	1.67	7.3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0.5	1.96	7.4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0.8	3.32	7.0
<b>ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ 2006</b>	<b>0.7</b>	<b>2.68</b>	<b>7.1</b>

Είναι γεγονός ότι τα πολύ άσχημα αποτελέσματα διάβρωσης και επικαθίσεων που έδωσαν οι «μάρτυρες» διάβρωσης για το 1<sup>ο</sup> εξάμηνο του έτους, οδήγησαν στην αντικατάσταση των ουσιών της χημικής επεξεργασίας. Έτσι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πυριτικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνταν ως αναστολείς διάβρωσης αντικαταστάθηκαν από νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Στο σχήμα 5.3, γίνεται εμφανής η αντικατάσταση των αναστολέων διάβρωσης, καθώς παρατηρούνται υψηλές τιμές silica στο 1<sup>ο</sup> εξάμηνο και υψηλές τιμές NO<sub>3</sub><sup>-</sup> στο 2<sup>ο</sup>. Οι υψηλές τιμές των νιτρικών ιόντων από τον Αύγουστο και μετά, οφείλονται στην οξείδωση των νιτρωδών και στην μετατροπή τους σε νιτρικά.



Σχήμα 5.3. Μεταβολή των συγκεντρώσεων των αναστολέων διάβρωσης του κλειστού κυκλώματος για το έτος 2006.

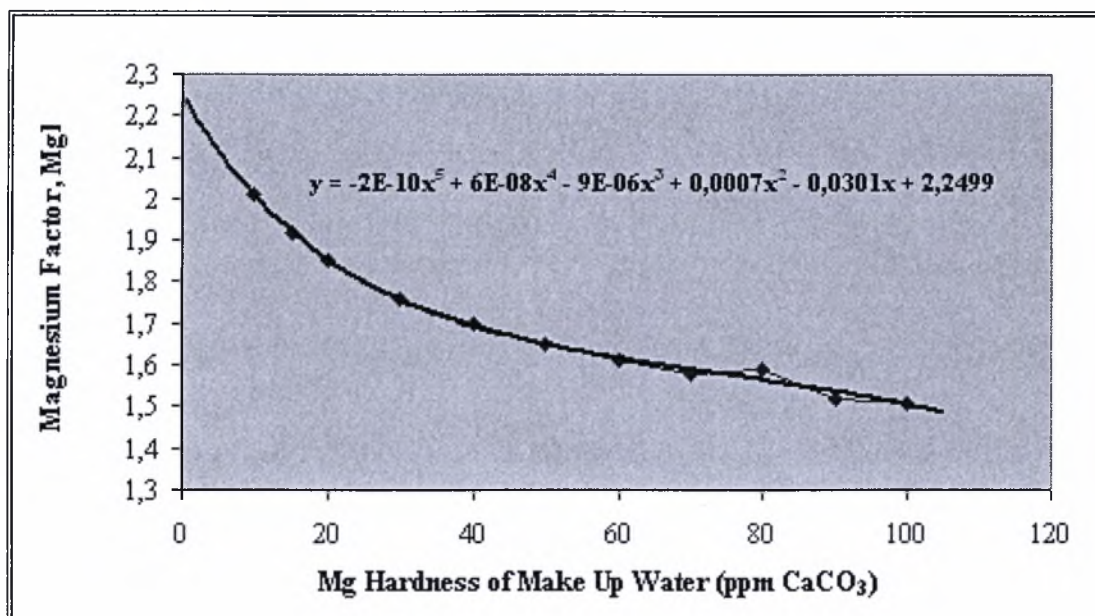
Εξαιτίας της προσθήκης επιπλέον πυριτικών ως αναστολέων διάβρωσης στο 1<sup>ο</sup> εξάμηνο του έτους, παρουσιάζει ενδιαφέρον να διερευνηθεί κατά πόσο τα άσχημα αποτελέσματα του 1<sup>ου</sup> εξαμήνου σε επικαθίσεις μπορεί να οφείλονται στην καταβύθιση πυριτικών αλάτων. Αρχικά η διερεύνηση αυτή έλαβε χώρα με την χρήση ενός απλού Δείκτη Κορεσμού που αφορά το πυριτικό μαγνήσιο.

Για την πρόβλεψη επομένως του σχηματισμού αλάτων **πυριτικού μαγνησίου**, υπολογίστηκε το  $pH$  κορεσμού ( $pH_s$ ) της ένωσης, με βάση την σκληρότητα του μαγνησίου ( $Mg^{2+}$  Hardness) στο νερό συμπλήρωσης και την θερμοκρασία του νερού ανακυκλοφορίας στο κύκλωμα[6]. Αξίζει να σημειωθεί ότι το  $pH_s$  της ένωσης, υπολογίστηκε σε δύο θερμοκρασίες. Στην θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή 81C4302 και στην μέγιστη θερμοκρασία του νερού στο κλειστό κύκλωμα (50°C περίπου).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής :

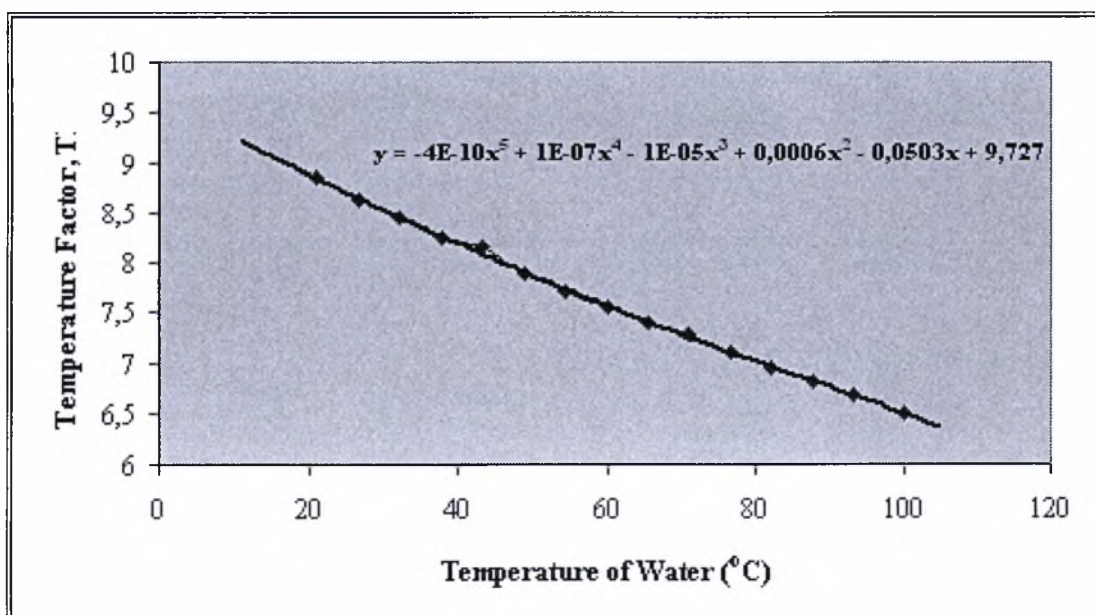
Αρχικά προσδιορίστηκε η εξίσωση που συνδέει την *σκληρότητα του μαγνησίου* στο νερό συμπλήρωσης και τον *παράγοντα του μαγνησίου*,  $MgF$  από γνωστά ζεύγη

τιμών. Αφού λοιπόν έγινε η γραφική τους παράσταση, προσδιορίστηκε η πολωνυμική εξίσωση 5<sup>ου</sup> βαθμού που συνδέει τα δύο μεγέθη. Η όλη διαδικασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4 :



Σχήμα 5.4. Προσδιορισμός της εξίσωσης Mg Hardness – Magnesium Factor.

Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού  $T$  και του παράγοντα θερμοκρασίας  $TF$  (Σχ. 5.5).



Σχήμα 5.5. Προσδιορισμός της εξίσωσης Water Temperature – Temperature Factor.

Το pH κορεσμού του διαλύματος σε πυριτικό μαγνήσιο  $pH_s$ , υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$pH_s = MgF - TF \quad (5-2)$$

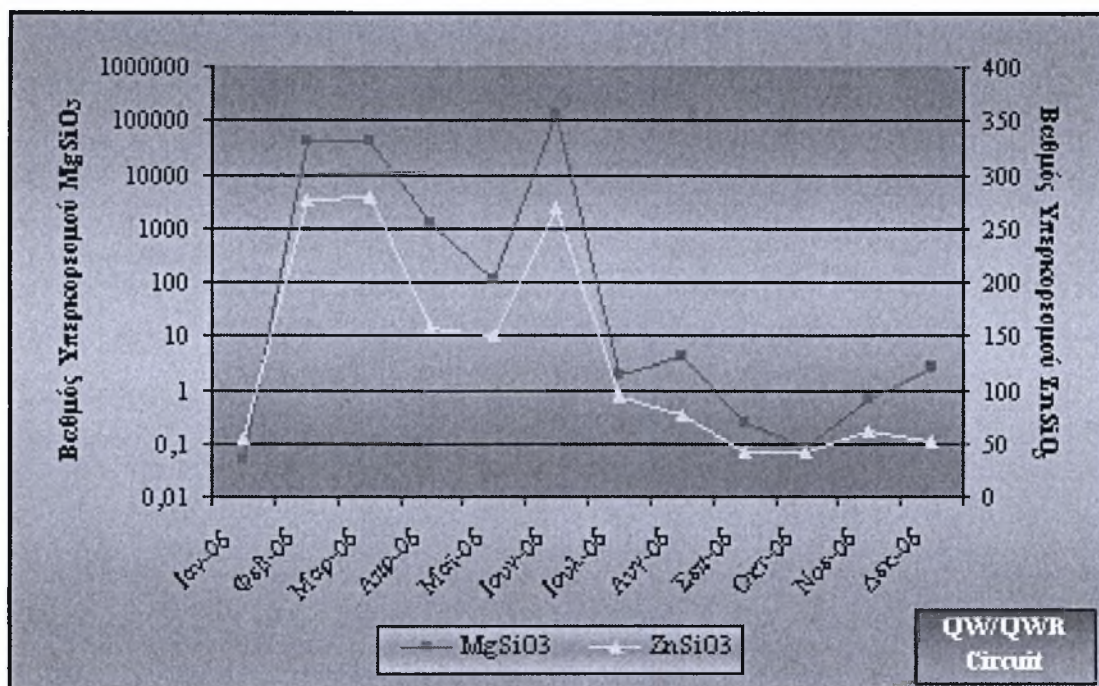
Οι τιμές  $pH_s$  που προέκυψαν για τις δύο θερμοκρασίες συγκρίνονται με τις μετρούμενες τιμές του pH του νερού του κυκλώματος  $pH_m$ , στον Πίνακα 5.12 :

**Πίνακας 5.12. Υπολογισμός του pH κορεσμού του πυριτικού μαγνησίου για το κλειστό κύκλωμα QW/QWR.**

QW/QWR					
Μήνας	Θερμοκρασία νερού $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$pH_s$	Μέγιστη Θερμοκρασία νερού $T = T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$pH_s$ ( $T = T_{\max}$ )	$pH_m$
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	32	10.4	50	9.7	8.12
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	36	10.6	50	10.0	8.94
ΜΑΡΤΙΟΣ	36	10.4	50	9.8	9.00
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	35	10.4	50	9.8	8.71
ΜΑΙΟΣ	37	10.3	50	9.7	8.51
ΙΟΥΝΙΟΣ	40	10.2	50	9.7	8.65
ΙΟΥΛΙΟΣ	42	10.3	50	9.9	8.35
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	43	10.2	50	9.8	8.38
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	40	10.2	50	9.8	8.30
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	38	10.4	50	9.9	8.29
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	36	10.4	50	9.9	8.52
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	34	10.5	50	9.9	8.51
<b>ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ 2006</b>	<b>38</b>	<b>10.3</b>	<b>50</b>	<b>9.8</b>	<b>8.52</b>

Από την σύγκριση των τιμών προκύπτει ότι το νερό του κλειστού κυκλώματος καθίσταται κορεσμένο σε πυριτικό μαγνήσιο σε μεγαλύτερες τιμές του pH απ' αυτές που μετρώνται στο κύκλωμα. Επομένως, με βάση αυτούς τους δείκτες δεν προκύπτουν προβλήματα καθαλατώσεων πυριτικού μαγνησίου για το κλειστό κύκλωμα κατά το έτος 2006.

Παράλληλα με τους υπολογισμούς των βαθμών υπερκορεσμού του ασβεστίτη που έγιναν με την χρήση του προγράμματος HYDRAQL, υπολογίστηκαν για το ίδιο χρονικό διάστημα (2006) και οι βαθμοί υπερκορεσμού άλλων ενώσεων, μεταξύ αυτών και των πιο κοινών τύπων πυριτικών αλάτων. Τα αποτελέσματα ως προς τους βαθμούς υπερκορεσμού αυτών των ενώσεων, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4 :



Σχήμα 5.6. Μεταβολή των Βαθμών Υπερκορεσμού πυριτικών αλάτων για το κύκλωμα QW/QWR για το έτος 2006.

Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς παρατηρείται στο 1<sup>ο</sup> εξάμηνο μια μεγάλη θερμοδυναμικά τάση για πυριτικές καθαλατώσεις. Με όρους κινητικής ωστόσο, είναι σπάνιο ως απίθανο να συναντήσουμε τέτοιες καθαλατώσεις στα ψυκτικά κυκλώματα., παρόλο που όπως αναφέρθηκε στην § 5.1.4, ο χρόνος επαγωγής (Induction Time *IT*) εξαρτάται από τον βαθμό υπερκορεσμού.

Από την οπτική παρατήρηση των «μαρτύρων» διάβρωσης εκείνης της περιόδου (1<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2006), διαπιστώθηκε πως μετά τον καθαρισμό των επικαθίσεων, οι καλυμμένες επιφάνειες παρουσίαζαν ενδείξεις «διάβρωσης κάτω από επικαθίσεις» (βλ. § 3.1.2 – Παράρτημα Γ' «Φωτογραφίες» ). Τέτοιου είδους διάβρωση παρατηρείται συνήθως κάτω από επικαθίσεις που είναι πορώδεις και δεν παρουσιάζουν μεγάλη συνοχή στη δομή τους, ώστε να επιτρέπουν την δημιουργία

τοπικών «κελιών συγκέντρωσης» (βλ. Σχ. 3.2). Οι καθαλατώσεις αντίθετα, αποτελούνται από κρυσταλλικά δυσδιάλυτα άλατα, που σχηματίζουν συμπαγείς κρούστες με πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Το πιθανότερο είναι οι επικαθίσεις αυτές, να συνοδεύονταν και από καθαλατώσεις ασβεστίτη που προσέδιδαν κάποιο βαθμό σκληρότητας στις μάζες τους. Υπενθυμίζεται πως οι καθαλατώσεις ασβεστίτη μπορούν να ταυτοποιηθούν με απλούς ελέγχους στα δείγματα. Προσθέτοντας λοιπόν σταγόνες υδροχλωρικού οξέος, παρατηρείται αφρισμός τους, που οφείλεται στην απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με την αντίδραση :



#### Μάρτυρες και ρυθμοί Διάβρωσης

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται κατά τις μετρήσεις απώλειας βάρους, είναι γνωστά και σαν «μάρτυρες διάβρωσης». Για την περίπτωση των κυκλωμάτων του χαλυβουργείου χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα με σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου. Από τη διαφορά βάρους, τις διαστάσεις και το χρόνο έκθεσης των μαρτύρων διάβρωσης στο νερό, καθώς και το ειδικό βάρος του υλικού των δοκιμίων, υπολογίζεται εύκολα η ταχύτητα (ο ρυθμός) διάβρωσης σε απώλεια πάχους του υλικού στην μονάδα του χρόνου.

Για την περίπτωση των κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου προέκυψαν οι ακόλουθες μέσες ετήσιες τιμές του ρυθμού διάβρωσης για το έτος 2006 :

**Πίνακας 5.13. Μέσοι Ετήσιοι Ρυθμοί Διάβρωσης κυκλωμάτων Χαλυβουργείου για το έτος 2006.**

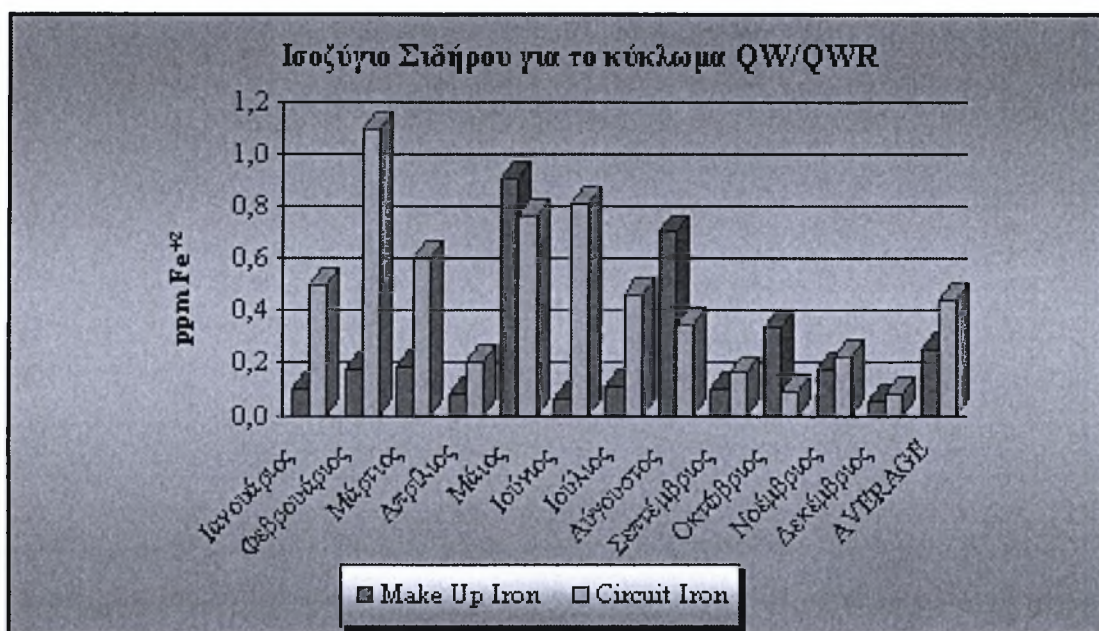
Ρυθμοί Διάβρωσης (mpy)			
Κύκλωμα	Προδιαγραφή Danieli	Μέση Ετήσια Τιμή 2006	Απόκλιση %
QW/QWR	<1	1.6	+ 60 %
CW/CWR	<3	6.5	+ 117 %
KW/KWR	<6	16.4	+ 173 %

Για το κλειστό κύκλωμα νερού ψύξης QW/QWR προκύπτει μια μέση ετήσια τιμή του ρυθμού διάβρωσης, ίση με 1.6 mpy (milli inch/year). Η τιμή αυτή παρουσιάζεται αυξημένη κατά 60 % σε σχέση με αυτήν που ορίζεται από την Danieli. Τα σημεία τοποθέτησης των «μαρτύρων» διάβρωσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτίμηση των αποτελεσμάτων. Οι συγκεκριμένοι «μάρτυρες» τοποθετήθηκαν στην κατάθλιψη των αντλιών, μετά τις δεξαμενές των κυκλωμάτων. **Για μια πιο αντικειμενική καταγραφή των ρυθμών διάβρωσης αλλά και των επικαθίσεων, προτείνεται η τοποθέτηση των «μαρτύρων» διάβρωσης σε σημεία που βρίσκονται εγγύτερα σε συσκευές εναλλαγής θερμότητας. Με τον τρόπο αυτό τα δοκίμια βρίσκονται σε ροές με υψηλότερες θερμοκρασίες του ανακυκλοφορούμενου νερού, ώστε να συνεκτιμηθεί και ο σημαντικός παράγοντας της θερμοκρασίας στην εμφάνιση των προβλημάτων.**

Σε αντίθεση με τις τιμές του Langelier, οι τιμές του Δείκτη Ryznar προβλέπουν είτε μια σταθερή συμπεριφορά ( $6 < RSI < 7$ ), είτε μια «μέτρια» διαβρωτική τάση ( $7 < RSI < 8$ ) του ανακυκλοφορούμενου νερού (Πίν. 5.10). Ο Δείκτης Ryznar (Πίν. 5.11) παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα έναντι του Langelier, ότι έχει εμπειρική βάση, αποτελεί και ποσοτική έκφραση των επικαθίσεων του ασβεστίτη και κυρίως είναι καταλληλότερος για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς νερών που υφίστανται χημική επεξεργασία [10,3,6].

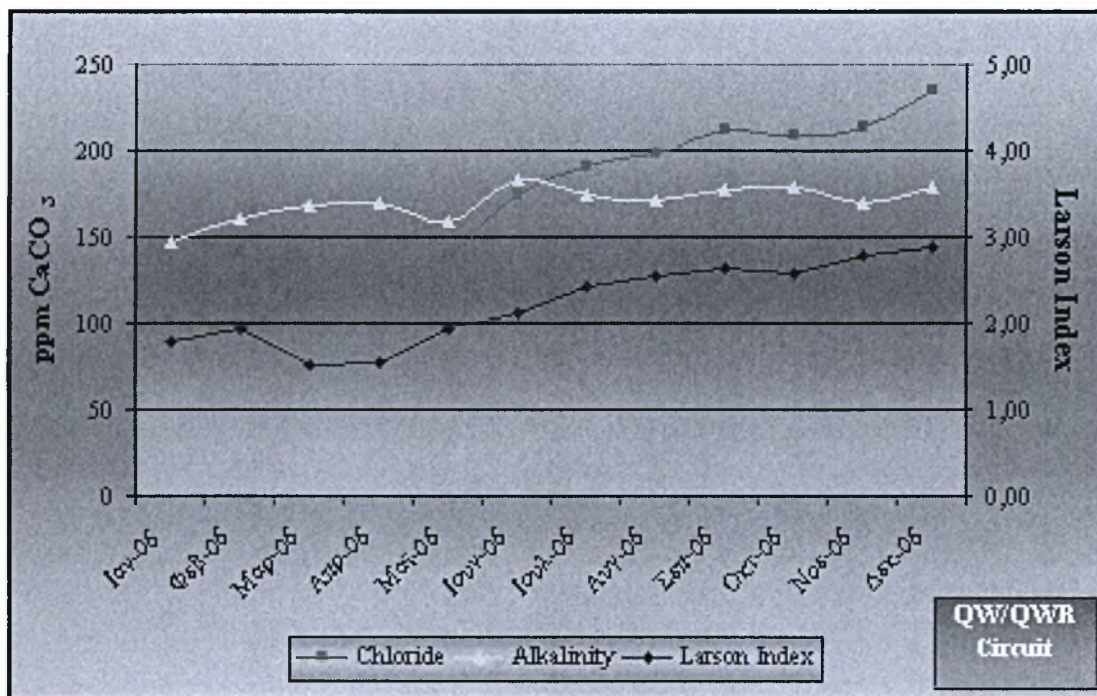
Εφαρμόζοντας ένα ισοζύγιο για τις τιμές του σιδήρου που προκύπτουν από την χημική ανάλυση στο νερό συμπλήρωσης (Make Up Iron) και στο ανακυκλοφορούμενο νερό (Circuit Iron), προκύπτει το Σχήμα 5.7 για το έτος 2006 :





Σχήμα 5.7. Ισοζύγιο Σιδήρου για το κύκλωμα QW/QWR για το έτος 2006.

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα συμπεραίνουμε ότι μέχρι τον Αύγουστο (με εξαίρεση τον Μάιο) υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ της τιμής του σιδήρου στο νερό που ανακυκλοφορεί και της τιμής στο νερό συμπλήρωσης (Make Up Iron < Circuit Iron). Η διαφορά αυτή καταδεικνύει την ύπαρξη προβλημάτων διάβρωσης στο κύκλωμα, αφού το πλεόνασμα του σιδήρου στο ανακυκλοφορούμενο νερό προφανώς οφείλεται σε σίδηρο που εισέρχεται στο διάλυμα από την αντίδραση διάβρωσης (βλ. § 3.1.1). Από τον Αύγουστο και μετά η διαφορά παίρνει αρνητικές τιμές (Make Up Iron > Circuit Iron) ή τείνει να εξαλειφθεί (Make Up Iron – Circuit Iron → 0). Παρόλο που ο Δείκτης Larson, που όπως αναφέρθηκε στην § 3.3.2 αποτελεί μέτρο της διαβρωτικής τάσης του νερού και στηρίζεται στην διαβρωτική δράση των χλωριόντων και θεικών και στην αντι-διαβρωτική της αλκαλικότητας, παρουσιάζει αύξηση το 2<sup>ο</sup> εξάμηνο του χρόνου (Σχ. 5.7), οι ρυθμοί διάβρωσης που υπολογίστηκαν για το συγκεκριμένο διάστημα παρουσιάζονται μειωμένοι.



Σχήμα 5.7. Μεταβολή των χλωριόντων, των θεικών ιόντων και του Δείκτη Larson - Skold του νερού ψύξης του κλειστού κυκλώματος QW/QWR για το έτος 2006.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται εμφανής η σπουδαιότητα της αποτελεσματικότητας και της καταλληλότητας του προγράμματος χημικής επεξεργασίας, που ακολουθείται για κάποιο συγκεκριμένο κύκλωμα νερού ψύξης. Παρόλο δηλαδή, που οι συνθήκες για το 1<sup>ο</sup> εξάμηνο του έτους είναι λιγότερο διαβρωτικές (λιγότερα χλωριόντα → λιγότερα *TDS* → λιγότερη αγωγιμότητα), οι ρυθμοί διάβρωσης είναι μεγαλύτεροι λόγω της ακαταλληλότητας των αναστολέων διάβρωσης (πυριτικά).

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως, τα αμφίβολα αποτελέσματα της χρήσης πυριτικών ενώσεων σαν αναστολέων διάβρωσης, που έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία [6,12,3,16], επιβεβαιώνονται και για το κλειστό ψυκτικό κύκλωμα QW/QWR. Η χρήση απεναντίας, νιτρωδών ιόντων παρουσίασε εμφανώς καλύτερα αποτελέσματα ως προς τους ρυθμούς διάβρωσης του κυκλώματος. Μελέτες που έχουν γίνει και αφορούν την χημική επεξεργασία σε

κλειστά κυκλώματα, αναφέρουν ότι τα μολυβδενικά πρόσθετα είναι εξίσου αποτελεσματικά με τα νιτρώδη ως προς την προστασία του χάλυβα από διάβρωση, δεν οξειδώνονται από τους μικροοργανισμούς και δεν εμφανίζουν προβλήματα βιολογικών αποθέσεων (*biological fouling*) όπως τα νιτρώδη, ενώ αποτελούν μια περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση σε σχέση με τους αναστολείς χρωμικών ενώσεων. Η υψηλή τιμή των ενώσεων αυτών όμως (μολυβδενικών), θέτει ένα οικονομικό περιοριστικό παράγοντα στην χρησιμοποίησή τους. Ειδικότερα σε ένα κύκλωμα, στο οποίο οι διαρροές είναι αυξημένες κατά 145 % (Πίν. 5.5) σε σχέση με τις προβλεπόμενες, η χρήση ακριβών αναστολέων δεν αποτελεί ιδιαίτερος ελκυστική λύση. **Ωστόσο, θα μπορούσε να εξετασθεί η εναλλακτική λύση της χρησιμοποίησης μείγματος νιτρώδων – μολυβδενικών, που θα περιόριζε τον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών, παρέχοντας πιθανώς εξαιρετικά αποτελέσματα ως προς τον έλεγχο των ρυθμών διάβρωσης.**

Αναφορικά με τις επικαθίσεις, οι τιμές υπερκορεσμού που υπολογίστηκαν με την χρήση του προγράμματος HYDRAQL, επιβεβαίωσαν την ύπαρξη πυριτικών καθαλατώσεων κατά το 1<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2006. Επομένως, η χρήση των πυριτικών ως αναστολέων διάβρωσης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συγκεντρώσεώς τους και την καταβύθιση πυριτικών αλάτων. Όσον αφορά τις καθαλατώσεις του ασβεστίτη, θερμοδυναμικά λαμβάνουν χώρα αλλά κινητικά η ύπαρξή τους είναι αμφισβητήσιμη. Ωστόσο επιβεβαιώνεται η ύπαρξη έστω και μικρών ποσοτήτων ασβεστίτη, με την διενέργεια απλών ελέγχων (προσθήκη υδροχλωρικού οξέος) στα δείγματα των επικαθίσεων. **Για τους παραπάνω λόγους θα μπορούσε να εξετασθεί το ενδεχόμενο προσθήκης στο κλειστό κύκλωμα και κάποιων ουσιών που θα διαδραμάτιζαν τον ρόλο αναστολέων επικαθίσεων.**

### 5.2.2. Ανακυκλοφορούμενο Νερό Ανοικτού Κυκλώματος έμμεσης επαφής CW/CWR

Οι μέσες ετήσιες τιμές, για το έτος 2006, των διάφορων ποιοτικών παραμέτρων του νερού που ανακυκλοφορεί στο ανοικτό κύκλωμα έμμεσης επαφής CW – R παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.14. Παράλληλα αναφέρονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές που παρατηρήθηκαν σε ετήσια βάση και αναγράφονται οι αντίστοιχες τιμές που ορίζουν οι προδιαγραφές της Danieli.

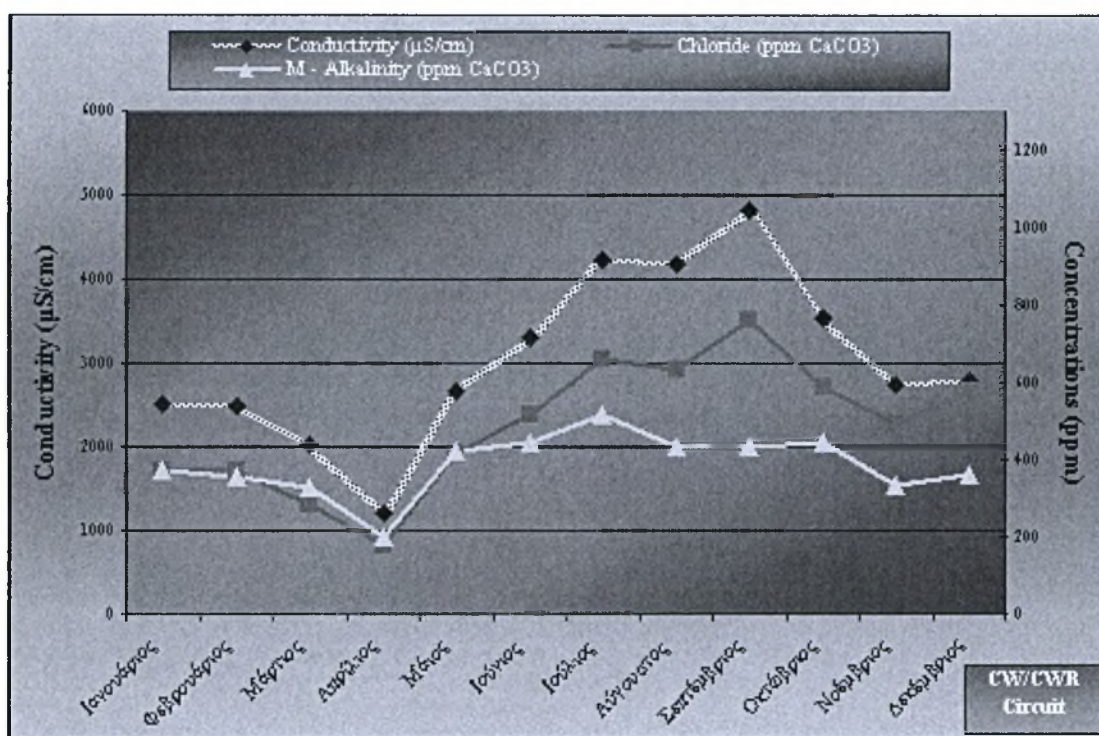
Πίνακας 5.14. Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006.

Παράμετροι	Μονάδες	Προδιαγραφές Danieli CW/CWR	MIN Values 06	MAX Values 06	AVG Values 06
Temperature	°C	30*	17	38	28
pH		8,5-9	8.3	9.4	9
Conductivity	μS/cm	1200-1500	827	5660	3043
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	180-210	40	460	173
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	160-190	25	340	123
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	90-120	110	635	388
Chloride	ppm Cl	150-240	184.6	1235.4	686
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub>	110-150	29	260	138
Concentration Cycles	N ο	3	1.1	4.56	2.86
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>				
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub>	30-50	20.8	75.6	57
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	30-40	17.2	53.8	37
Total Iron	ppm Fe	<1	0.05	5.6	0.9
Zinc	ppm Zn		0.03	0.5	0,2
Phosphate	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.3	8.8	4
TSS	ppm	10-20	0.1	10.8	7
TDS	ppm	750 - 900	574	3792.2	2039

\* Η θερμοκρασία αναφέρεται στο νερό που βρίσκεται εντός της δεξαμενής 81C4303 του κυκλώματος

Με μια πρώτη σύγκριση των τιμών του Πίν. 5.14 φαίνεται ότι η τιμή της αγωγιμότητας (και επομένως και του TDS) είναι σχεδόν διπλάσια απ' αυτή που υπαγορεύουν οι προδιαγραφές της Danieli. Αυτό όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.8, οφείλεται κυρίως στις αυξημένες τιμές των χλωριόντων, που ξεπερνούν τα επιθυμητά

όρια της συγκεντρώσεως τους ήδη από το νερό των γεωτρήσεων και επομένως και από το νερό συμπλήρωσης του κυκλώματος. Σε δεύτερο βαθμό, οι τιμές της αλκαλικότητας, που είναι τριπλάσιες των προδιαγραφών, είναι υπεύθυνες για τις υψηλές τιμές της αγωγιμότητας του νερού.



Σχήμα 5.8. Μεταβολές της αγωγιμότητας, των χλωριόντων και της ολικής αλκαλικότητας του νερού ψύξης του κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006.

### Χημική Επεξεργασία του κυκλώματος CW/CWR

Στο κύκλωμα αυτό, όπως φαίνεται και από τον Πίν. 5.14, οι χημικές ενώσεις που προστίθενται είναι ο ψευδάργυρος (Zinc), ο οποίος στην κάθοδο σχηματίζει αδιάλυτα λεπτά στρώματα με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφάνειας της (καθοδικό αντιδιαβρωτικό). Τα πολυφωσφορικά επίσης (polyphosphates) που προστίθενται σχηματίζουν αδιάλυτα ιζήματα και στρώματα στην κάθοδο (καθοδικά αντιδιαβρωτικά) με τα ιόντα ασβεστίου. Φαίνεται πάντως ότι δρουν ωστόσο και σαν ανοδικά αντιδιαβρωτικά, ροφώντας οξυγόνο και διευκολύνοντας την παθητικοποίηση της ανόδου[12].

Η δράση ωστόσο των πολυφωσφορικών δεν περιορίζεται μόνο στην αντιδιαβρωτική τους συμπεριφορά αλλά δρουν και σαν αντικαθαλατωτικά, εμποδίζοντας την ανάπτυξη των πυρήνων και των κρυσταλλιτών. Δόση πολυφωσφορικών 2 – 5 ppm ως προς P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> επιτρέπει τον έλεγχο των καθαλατώσεων [10,3,6]. Το κύριο μειονέκτημα των πολυφωσφορικών αποτελεί η υδρόλυση τους προς ορθοφωσφορικά, που δεν είναι αντικαθαλατωτικά, αλλά αντίθετα δημιουργούν καθαλατώσεις. Η υδρόλυση τους επιτυγχάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και μειώνεται το *pH* του νερού. Επιπλέον, η παρουσία πολυφωσφορικών στο κύκλωμα ενισχύει την ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών.

Τέλος, χρησιμοποιούνται και διασπартικά για την σταθεροποίηση των συστημάτων λεπτής διασποράς στερεών στο νερό, καθώς και ισοθειαζολίνη που αποτελεί μη οξειδωτικό βιοκτόνο για την εξουδετέρωση και την αναστολή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αποτελούν τον συνηθέστερο κίνδυνο μόλυνσης στα ανοικτά κυκλώματα, λόγω της επαφής του νερού με τον αέρα και τα σωματίδια που αυτός περιέχει, κατά την ψύξη του στον πύργο.

#### Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Ανακυκλοφορούμενου Νερού κυκλώματος CW/CWR

Οι ετήσιες μέσες τιμές των δεικτών που υπολογίστηκαν για την εκτίμηση των τάσεων και της συμπεριφοράς του νερού ως προς την διάβρωση και τις αποθέσεις ασβεστίτη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.15 :

Πίνακας 5.15. Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Ανακυκλοφορίας Κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006.

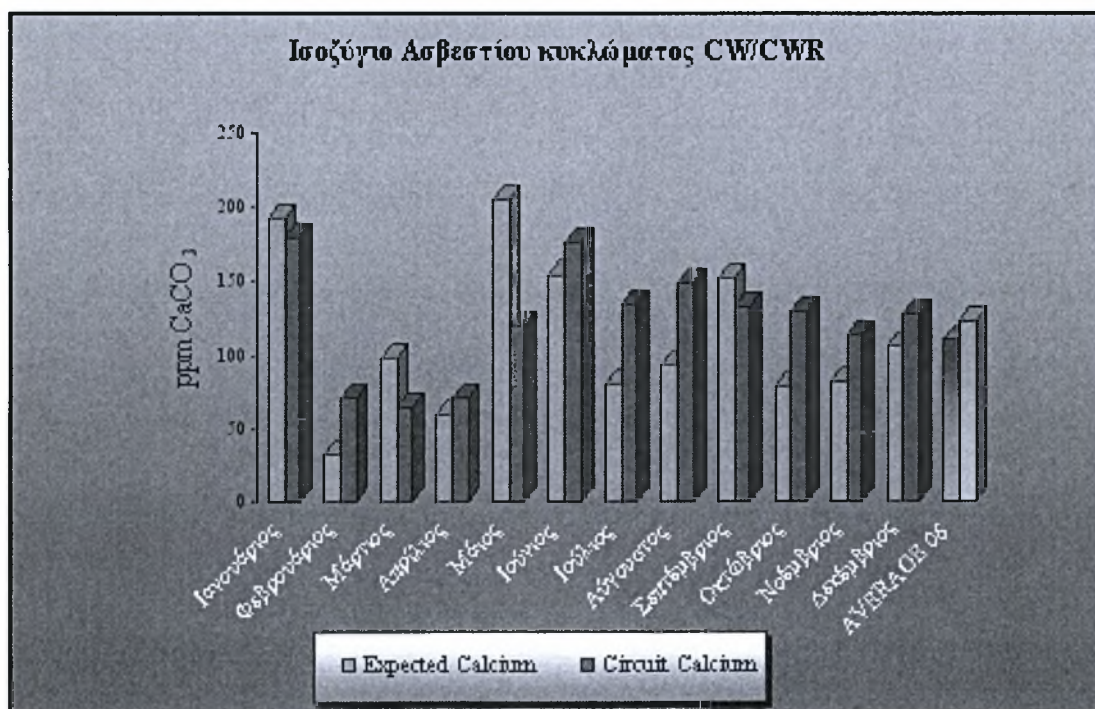
Νερό Ανακυκλοφορίας Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR		AVG Values 06	Τιμές Δεικτών	Συμπεριφορά Νερού
Παράμετρος	Μονάδες			
Temperature	°C	28	Langelier Saturation Index LSI 1.67	Moderately Scaling Water
pH		9		
Conductivity	μS/cm	3043	Ryznar Stability Index RSI 5.62	Lightly Scaling Water
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	173		
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	123		
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	388	Puckorius Scaling Index PSI 6.24	Stable Water
Chloride	ppm Cl	686		
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub>	138		
Concentration Cycles	N o	2,8		
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>		Larson Index LI 2.86	Corrosive
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub>	57		
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	37		
Total Iron	ppm Fe	0,9		
Zinc	ppm Zn	0,2		
Phosphate	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4		
TSS	ppm	7		
TDS	ppm	2039		

Για την περίπτωση του κυκλώματος CW – R, ακολουθείται όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα πρόγραμμα χημικής επεξεργασίας με την χρήση αναστολέων επικαθίσεων όπως τα πολυφωσφορικά. Επομένως, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, για τον σχηματισμό επικαθίσεων ασβεστίτη στο κύκλωμα, θα απαιτούνται μεγαλύτερες θερμοδυναμικά ωθούσες δυνάμεις που αντιστοιχούν σε τιμές του Δείκτη Langelier μεγαλύτερες του 2.5 και σε τιμές του Δείκτη Ryznar και Puckorius μικρότερες του 4. Καμιά από τις τιμές του παραπάνω πίνακα δεν βρίσκεται σ' αυτά τα όρια με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο έλεγχος του σχηματισμού αποθέσεων ασβεστίτη, με την χρήση των αναστολέων. Για την μέση ετήσια σύσταση του νερού που δίνεται στον πίνακα, η θερμοκρασία του θα πρέπει να ξεπερνά τους 75°C κατά την διέλευση του από το κύκλωμα, για να προκύψουν οι οριακές τιμές του LSI (>2.5) και του RSI (<4.0). Υπενθυμίζεται ότι η μέγιστη θερμοκρασία του νερού στο κύκλωμα κυμαίνεται μεταξύ 50 – 60 °C.

Επομένως, παρόλο που οι τιμές των δεικτών του Langelier και του Ryznar καταμαρτυρούν μια τάση για επικαθίσεις του νερού, η χημική επεξεργασία που εφαρμόζεται για τον έλεγχο των αποθέσεων είναι πιθανό να επιδρά αποτελεσματικά στην διαλυτοποίηση των αλάτων και την μη καθίζηση τους.

Επίσης όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία [3,10,20,21], οι παραπάνω τιμές των «απλών» δεικτών αντιστοιχούν σε μια τιμή του βαθμού υπερκορεσμού ίση με 150 περίπου. Με την χρήση του προγράμματος HYDRAQL, υπολογίστηκε ο βαθμός υπερκορεσμού του ασβεστίτη για την ποιοτική σύσταση του Πιν. 5.15 ίσος με 23.4. Επομένως είναι δυνατός ο έλεγχος των επικαθίσεων ασβεστίτη με την χρησιμοποίηση κατάλληλων αναστολέων.

Πραγματοποιώντας μια σύγκριση μεταξύ των μέσων τιμών της σκληρότητας του ασβεστίου που μετρήθηκαν στο σύστημα σε μηνιαία βάση (*Circuit Calcium*) και των τιμών που αναμένονται να κυκλοφορούν σ' αυτό, βάσει της τιμής του ασβεστίου στο νερό συμπλήρωσης και των κύκλων συμπύκνωσης (*Expected Calcium*), προκύπτει το Σχήμα 5.9 :



Σχήμα 5.9. Ισοζύγιο Ασβεστίου για το κύκλωμα CW/CWR για το έτος 2006.



Με εξαίρεση τους μήνες του Μαρτίου και Μαΐου του 2006, οι αναμενόμενες τιμές για το ασβέστιο (*Expected Calcium*) είναι ίσες ή μικρότερες σε σχέση με την πραγματική συγκέντρωση που προσδιορίζεται βάσει των χημικών αναλύσεων στο κύκλωμα (*Circuit Calcium*). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως για τους μήνες αυτούς δεν υπάρχει έλλειμμα της μετρούμενης τιμής σε σχέση με την αναμενόμενη, που θα μπορούσε να οφείλεται σε πιθανό σχηματισμό καθαλατώσεων ασβεστίτη.

Συμπερασματικά λοιπόν μπορεί να αναφερθεί ότι, δεδομένου του προγράμματος χημικής επεξεργασίας που ακολουθείται για τον έλεγχο των αποθέσεων, οι ωθούσες δυνάμεις που υπολογίζονται από τους «απλούς» δείκτες, δεν καταγράφουν έντονες τάσεις του ανακυκλοφορούμενου νερού, ικανές για τον σχηματισμό επικαθίσεων ασβεστίτη. Από την εφαρμογή ωστόσο του ισοζυγίου του ασβεστίου για το έτος 2006, προκύπτουν κάποιες διαφορές μεταξύ των αναμενόμενων και των πραγματικών τιμών του, οι οποίες ίσως να υποδηλώνουν τον σχηματισμό αποθέσεων. Οι διαφορές αυτές παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τους μήνες Μάρτιο και Μάιο (34 και 84 ppm  $\text{CaCO}_3$  αντίστοιχα), ενώ εμφανίζονται πιο οριακές τους μήνες Ιανουάριο και Σεπτέμβριο (12 και 18 ppm  $\text{CaCO}_3$  αντίστοιχα). Ο έλεγχος των επικαθίσεων ασβεστίτη έγκειται λοιπόν στην αποτελεσματικότητα και στην καταλληλότητα του προγράμματος χημικής επεξεργασίας.

Γεγονός πάντως είναι πως το ανοικτό κύκλωμα έμμεσης επαφής CW – R, παρουσίαζε και συνεχίζει να παρουσιάζει επικαθίσεις. Μέρος των επικαθίσεων αυτών εμφανίζονται να είναι σκληρές, γεγονός που αποδεικνύει την ύπαρξη καθαλατώσεων ασβεστίτη. Αυτή η εντύπωση ενισχύεται με απλούς οπτικούς ελέγχους καθώς με την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος, οι επικαθίσεις αφρίζουν αποδεικνύοντας την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα. Μια μεγάλη πιθανότητα επίσης είναι οι επικαθίσεις αυτές να αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από οξείδια του σιδήρου. Υπενθυμίζεται σ' αυτό το σημείο πως οι επικαθίσεις του μαγνητίτη  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  είναι περισσότερο επιθυμητές σε σχέση με αυτές του αιματίτη  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , καθώς είναι πιο συνεκτικές, προσφέροντας μια αποτελεσματικότερη προστασία έναντι της διάβρωσης.

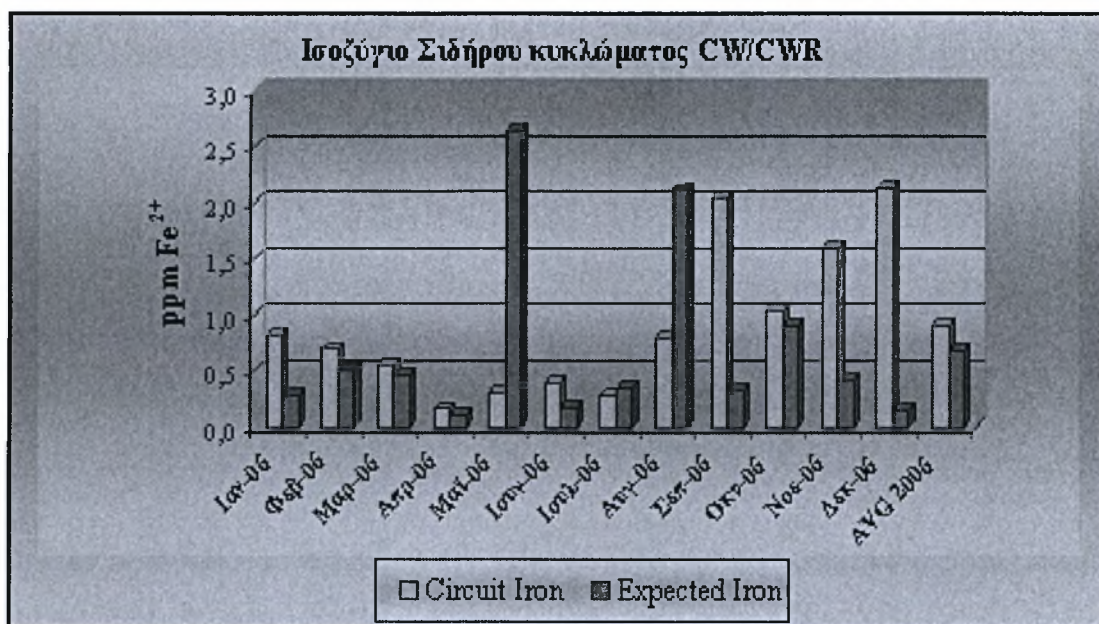
Ρυθμοί Διάβρωσης

Στον Πίνακα 5.13 της προηγούμενης παραγράφου δίνεται ότι η μέση τιμή του ρυθμού διάβρωσης για το ανοικτό κύκλωμα CW – R, για το έτος 2006 είναι 6.5 mpy. Η τιμή αυτή είναι αυξημένη κατά 117% σε σχέση με αυτή της προδιαγραφής. Ο δείκτης Larson – Skold επιβεβαιώνει την διαβρωτική τάση του νερού ψύξης του κυκλώματος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.16 :

**Πίνακας 5.16. Τιμές του Δείκτη Larson – Skold του νερού ψύξης του ανοικτού κυκλώματος CW/CWR για το έτος 2006.**

Μήνας	Δείκτης Larson – Skold <i>LI</i>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2.2
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2.4
ΜΑΡΤΙΟΣ	1.9
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2.0
ΜΑΙΟΣ	2.3
ΙΟΥΝΙΟΣ	2.6
ΙΟΥΛΙΟΣ	2.9
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	3.3
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4.0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	3.0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	3.4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	3.6
<b>ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ 2006</b>	<b>2.9</b>

Οι τιμές που προκύπτουν για κάθε μήνα του έτους είναι κατά πολύ μεγαλύτερες του 0.2, γεγονός που φανερώνει την διαβρωτική τάση του νερού. Ένας άλλος τρόπος για την μελέτη της εμφάνισης προβλημάτων διάβρωσης, όπως είδαμε είναι η εφαρμογή ισοζυγίου του σιδήρου (Σχ. 5.10) στο κύκλωμα. Από το σχήμα παρατηρούμε ότι με εξαίρεση τους μήνες Μάιο, Αύγουστο και οριακά τον Ιούλιο, οι τιμές του σιδήρου στο κύκλωμα (*Circuit Iron*) είναι μεγαλύτερες αυτών που προκύπτουν βάσει της συγκέντρωσης σε σίδηρο του νερού συμπλήρωσης και του βαθμού συμπύκνωσης (*Expected Iron*). Οι διαφορές αυτές μεγαλώνουν κατά το τέλος του έτους, γεγονός που βρίσκεται σε συμφωνία με την πρόβλεψη του Δείκτη Larson (Πίν. 5.16) και με την μεταβολή της συγκέντρωσης των χλωριόντων (Σχ. 5.8).



Σχήμα 5.10. Ισοζύγιο σιδήρου για το κύκλωμα CW/CWR για το έτος 2006.

Ανακεφαλαιώνοντας, για το κύκλωμα CW/CWR μπορούν να αναφερθούν τα εξής συμπεράσματα. Μια από τις μεθόδους ελέγχου των καθαλατώσεων είναι όπως αναφέρθηκε στην § 3.4 και η κατάλληλη ρύθμιση της απομάστευσης ή στρατσώνας, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των κύκλων συμπύκνωσης όπως δίνεται και από την εξίσωση :  $C = MU/BD$ . Ωστόσο, υψηλοί ρυθμοί στρατσώνας δεν είναι πάντοτε ανεκτοί και σε πολλές περιπτώσεις ανάλογα και με την ποιότητα του νερού δεν μπορούν να παράσχουν ολοκληρωμένο έλεγχο των καθαλατώσεων. Σε πολλές περιπτώσεις επίσης, όπως για την περίπτωση της SOVEL A.E., οι παροχές σε φρέσκο νερό είναι περιορισμένες και δαπανηρές (βλ. § 4.4).

Όπως έχει αναφερθεί για μια τιμή του Δείκτη Langelier μικρότερη του 2.5 ή/ και του Δείκτη Ryznar μικρότερη του 4.0, είναι δυνατός ο έλεγχος των καθαλατώσεων του ασβεστίτη με την κατάλληλη προσθήκη αναστολέων επικαθίσεων. Για τις μέσες τιμές της σύστασης του νερού του Πιν. 5.15, η θερμοκρασία του πρέπει να φτάσει στους 75 °C, έτσι ώστε να σχηματισθούν καθαλατώσεις ασβεστίτη. Καθαλατώσεις ασβεστίτη ωστόσο είναι δυνατόν να σχηματισθούν και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, αν το πρόγραμμα χημικού ελέγχου τους δεν είναι επαρκές.

Πιο συγκεκριμένα, τα πολυφωσφορικά που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των καθαλατώσεων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με υδρόλυση μετατρέπονται σε όρθοφωσφορικά, τα οποία κάτω από μη ελεγχόμενες συνθήκες δίνουν καθαλατώσεις φωσφορικού ασβεστίου. Υπάρχουν ωστόσο, άλλα αντικαθαλατωτικά τα οποία εμποδίζουν τον σχηματισμό καθαλατώσεων, χωρίς τις ανεπιθύμητες αυτές παρενέργειες. Έτσι, η τάση σήμερα είναι η χρήση των πολυφωσφορικών αποκλειστικά σαν αναστολέων διάβρωσης. Για τον έλεγχο των επικαθίσεων, η χρήση των φωσφονικών (*phosphonates*) και πολυμερών μικρού μοριακού βάρους, καθίσταται επιτυχής, σε συνδυασμό με λογικούς ρυθμούς στρατσώνας του νερού, χωρίς την ανάγκη μείωσης του *pH* του με την προσθήκη οξέος [10,3].

Το ανοικτό κύκλωμα CW/CWR παρουσιάζει πρόβλημα υψηλών ρυθμών διάβρωσης, όπως διαπιστώνεται και από τους «μάρτυρες» διάβρωσης. Κύρια αιτία για την ύπαρξη αυτών των προβλημάτων αποτελούν τα χλωριόντα που περιέχονται στο φρέσκο νερό των γεωτρήσεων. Με τις υπάρχουσες μεθόδους επεξεργασίας του νερού συμπλήρωσης που τροφοδοτεί τα κυκλώματα του Χαλυβουργείου, δεν είναι δυνατή η μείωση της συγκεντρώσεως τους σε ασφαλή επίπεδα. Επομένως όλη η προσοχή πρέπει να στραφεί στην επιλογή ενός αποτελεσματικού αλλά και οικονομικού και περιβαλλοντικά αποδεκτού προγράμματος επεξεργασίας. Η λύση ενός τέτοιου προβλήματος δεν είναι πάντοτε απλή, αφού η βελτιστοποίηση της επιλογής αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων.

Σε υψηλές τιμές του *pH* (αλκαλικές περιοχές), προγράμματα που κάνουν χρήση οργανικών αναστολέων διάβρωσης, σε συνδυασμό με ψευδάργυρο και φωσφορικά, κρίνονται ως εξαιρετικά επιτυχή. Για την προστασία των χάλκινων μερών του συστήματος χρησιμοποιούνται αζόλες, όπως και στην περίπτωση του κλειστού κυκλώματος QW/QWR [3].

Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στον έλεγχο των επικαθίσεων που δημιουργούνται από φερτές ύλες και μικροοργανισμούς. Οι επικαθίσεις αυτές σε αντίθεση με τις καθαλατώσεις ενισχύουν τους τοπικούς ρυθμούς διάβρωσης του χάλυβα, αφού παρέχουν ιδανικές συνθήκες για την δημιουργία τοπικών «κελιών συγκέντρωσης». Η συνεχής παρακολούθηση των φαινομένων αυτών (μάρτυρες διάβρωσης, οπτικός έλεγχος δεξαμενών) είναι καθοριστικής σημασίας για την

περαιτέρω αντιμετώπισή τους είτε με χημικά μέσα, με την προσθήκη κατάλληλων ουσιών (π.χ. βιοκτόνα, διασπартικά), είτε με μηχανικά μέσα καθαρισμού.

### 5.2.3. Ανακυκλοφορούμενο Νερό Ανοικτού Κυκλώματος άμεσης επαφής KW/KWR

Οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές των ποιοτικών παραμέτρων του νερού ανακυκλοφορίας του κυκλώματος, για το έτος 2006 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.17 :

Πίνακας 5.17. Ποιότητα Ανακυκλοφορούμενου Νερού Ανοικτού Κυκλώματος KW/KWR για το έτος 2006.

Παράμετροι	Μονάδες	Προδιαγραφές Danieli CW/CWR	MIN Values 06	MAX Values 06	AVG Values 06
Temperature	°C	35*	28	43	37
pH		8.5-9	7.4	9	8.5
Conductivity	μS/cm	1200-1500	1212	5360	3017.4
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	180-210	140	510	321.6
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	160-190	105	360	231.4
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	90-120	85	485	255.4
Chloride	ppm Cl	150-240	312.4	1327	743.5
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub>	110-150	52.4	309.6	161.7
Concentration Cycles	Ν ο	3	1.5	5.3	3.1
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>		3	32	12.1
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub>	30-50	13.5	98.3	46.3
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	30-40	9.4	122.4	33.2
Total Iron	ppm Fe	<1.5	0.07	4.4	2.0
Zinc	ppm Zn		0	0.4	0.1
Phosphate	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.2	5	2.4
TSS	ppm	30-50	5.4	63.6	20.5
TDS	ppm	750 - 900	812	3591	2039

Η θερμοκρασία αναφέρεται στο νερό που βρίσκεται εντός της δεξαμενής 81C4306 του κυκλώματος

Μια πρώτη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τα αντίστοιχα που υπαγορεύουν οι προδιαγραφές, μας δίνει μια αρκετά επιβαρημένη ποιοτικά εικόνα του νερού του κυκλώματος. Οι τιμές της αγωγιμότητας και των TDS είναι αυξημένες κατά 100 % περίπου σε σχέση με τις προδιαγραφές, λόγω κυρίως των υψηλών τιμών των χλωριόντων (προβλήματα διάβρωσης). Και οι τιμές της

σκληρότητας και αλκαλικότητας υπερβαίνουν αυτές των προδιαγραφών, προκαλώντας πιθανώς προβλήματα επικαθίσεων ασβεστίτη.

Για μια πιο σαφή εικόνα των τάσεων του νερού ανακυκλοφορίας του κυκλώματος και των πιθανών προβλημάτων που αυτό δημιουργεί υπολογίστηκαν οι «απλοί» δείκτες κορεσμού, οι οποίοι παρατίθενται στον Πίνακα 5.18 :

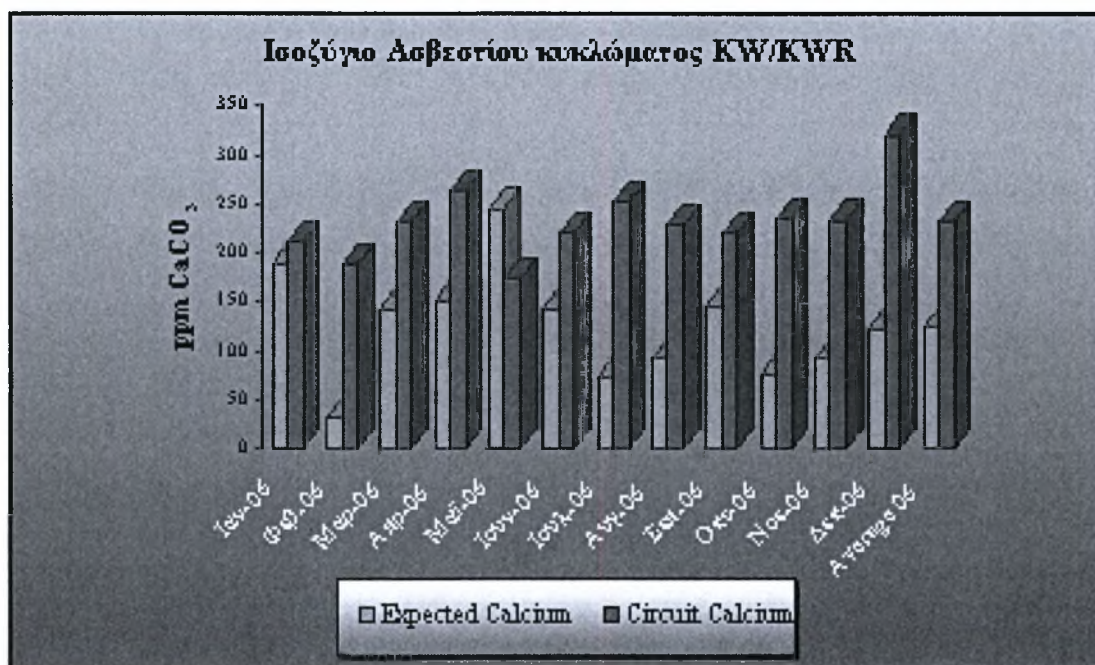
Πίνακας 5.18. Δείκτες Εκτίμησης Συμπεριφοράς Νερού Ανακυκλοφορίας Κυκλώματος kW/KWR για το έτος 2006.

Νερό Ανακυκλοφορίας Ανοικτού Κυκλώματος KW/KWR		AVG Values 06	Τιμές Δεικτών	Συμπεριφορά Νερού
Παράμετρος	Μονάδες			
Temperature	°C	37	Langelier Saturation Index LSI 1.45	Moderately Scaling Water
pH		8.5		
Conductivity	μS/cm	3017.4	Ryznar Stability Index RSI 5.57	Lightly Scaling Water
Total Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	321.6		
Calcium Hardness	ppm CaCO <sub>3</sub>	231.4		
M-Alkalinity	ppm CaCO <sub>3</sub>	255.4	Puckorius Scaling Index PSI 5.98	Lightly Scaling Water
Chloride	ppm Cl	743.5		
Sulphate	ppm SO <sub>4</sub>	161.7		
Concentration Cycles	N o	3.1		
Nitrite	ppm NO <sub>2</sub>	12.1	Larson Index LI 4.76	Corrosive
Nitrate	ppm NO <sub>3</sub>	46.3		
Silica	ppm SiO <sub>2</sub>	33.2		
Total Iron	ppm Fe	2.0		
Zinc	ppm Zn	0.1		
Phosphate	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.4		
TSS	ppm	20.5		
TDS	ppm	2039		

Οι τιμές των δεικτών LSI, RSI και PSI καταμαρτυρούν μια τάση για αποθέσεις ασβεστίτη στο νερό ανακυκλοφορίας. Ωστόσο, δεδομένου της χημικής επεξεργασίας που υφίστανται το κύκλωμα, παρόμοιας με αυτή του ανοικτού κυκλώματος CW – R, δεν προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες ωθούσες δυνάμεις για τον σχηματισμό αποθέσεων. Απεναντίας, ο Δείκτης Larson παρουσιάζει μια μεγάλη διαβρωτική τάση του νερού, μεγαλύτερη από κάθε άλλο κύκλωμα.

Με βάση την μέση ποιοτική σύσταση του νερού του Πίνακα 5.18 και με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος HYDRAQL βρέθηκε πως ο βαθμός υπερκορεσμού του ασβεστίτη είναι 18. Η τιμή αυτή (<150) επιτρέπει τον επιτυχή έλεγχο των επικαθίσεων σε ασβεστίτη με την προϋπόθεση της προσθήκης στο κύκλωμα των κατάλληλων αναστολέων.

Το ισοζύγιο για το ασβέστιο του κυκλώματος παρουσιάζεται στο Σχ. 5.11.



Σχήμα 5.11. Ισοζύγιο Ασβεστίου για το κύκλωμα KW/KWR για το έτος 2006.

Από την εικόνα του ισοζυγίου του ασβεστίου για το έτος 2006 δεν προκύπτει κάποια ένδειξη καθαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου με εξαίρεση τον μήνα Μάιο. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το πρόγραμμα χημικής επεξεργασίας που ακολουθείται είναι επιτυχημένο ως προς τον έλεγχο των εν λόγω αποθέσεων. Το γεγονός αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με την οπτική παρατήρηση των μαρτύρων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση του κυκλώματος. Διαπιστώθηκε δηλαδή, ότι οι επικαθίσεις που εντοπίστηκαν στις επιφάνειες των μαρτύρων οφείλονταν κυρίως σε μικροοργανισμούς (*slime deposits*) και σε άλλες φερτές ύλες (*particulate fouling*), η παρουσία των οποίων είναι μεγάλη, εξαιτίας της άμεσης επαφής του νερού φύξης με το προϊόν.

### Ρυθμοί Διάβρωσης

Οι ρυθμοί διάβρωσης, που υπολογίστηκαν από τους μάρτυρες διάβρωσης για το ανοικτό κύκλωμα άμεσης επαφής παρουσιάστηκαν στον Πιν. 5.13. Οι ρυθμοί αυτοί είναι αυξημένοι κατά 173 % σε σχέση με αυτούς που προβλέπουν οι προδιαγραφές. Οι τύποι της διάβρωσης που παρατηρούνται οπτικά είναι κατά πάσα πιθανότητα η λεγόμενη «διάβρωση κάτω από επικαθίσεις», ενώ παρατηρούνται λιγότερο συχνά και βελονισμοί στην μεταλλική επιφάνεια (*pitting corrosion*).

Οι μεγαλύτεροι λοιπόν ρυθμοί διάβρωσης που παρατηρούνται σ' αυτό το κύκλωμα, οφείλονται ακριβώς στις επικαθίσεις που σχηματίζονται από τις φερτές ύλες και τους μικροοργανισμούς. Οι επικαθίσεις αυτές ευνοούν τη δημιουργία κελιών συγκέντρωσης με αποτέλεσμα τους αυξημένους τοπικούς ρυθμούς διάβρωσης.

Για την περίπτωση του κυκλώματος άμεσης επαφής, ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στην επιβάρυνση του νερού ψύξης που ανακυκλοφορεί από ρυπαντικές ουσίες. Οι ουσίες αυτές συναντώνται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εξαιτίας ακριβώς της άμεσης επαφής του νερού ψύξης με το προϊόν (μιγιέτες χάλυβα).

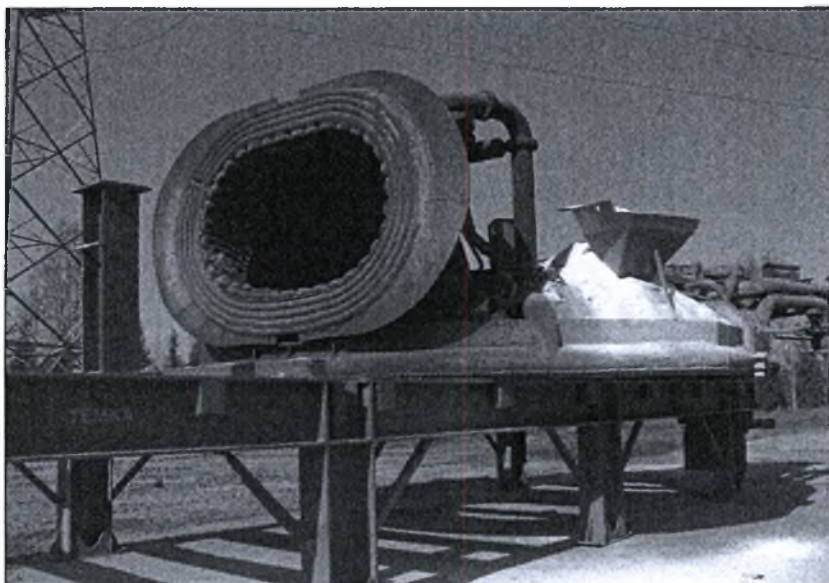
Η ύπαρξη αυτών των ουσιών ή/ και των μικροοργανισμών δημιουργεί προβλήματα επικαθίσεων οι οποίες ενισχύουν τους τοπικούς ρυθμούς διάβρωσης. Οι επικαθίσεις αυτές μπορούν επίσης να οδηγήσουν και στην αστοχία του μηχανολογικού εξοπλισμού, φράζοντας διατομές και δυσχεραίνοντας τη ροή του νερού στο κύκλωμα. Εκτός λοιπόν από το κατάλληλο πρόγραμμα επεξεργασίας που πρέπει να ακολουθηθεί με την προσθήκη χημικών ουσιών, απαιτείται η συνεχής παρακολούθηση των μερών του κυκλώματος (δεξαμενές, σωληνώσεις, εναλλάκτες θερμότητας κτλ) και ο μηχανικός καθαρισμός τους, όταν κριθεί αναγκαίο. Στα πλαίσια αυτής της πολιτικής, τα ανοικτά κυκλώματα θα πρέπει να αδειάζουν εντελώς από το νερό που περιέχουν (*drained*), ειδικά κατά τα χρονικά διαστήματα που βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Πριν την επανεκκίνηση τους θα πρέπει να ξεπλυθούν με νερό (*flushed*) για τον καθαρισμό των υπολειμμάτων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις δεξαμενές των ψυκτικών πύργων, που αποτελούν ιδανικά περιβάλλοντα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.



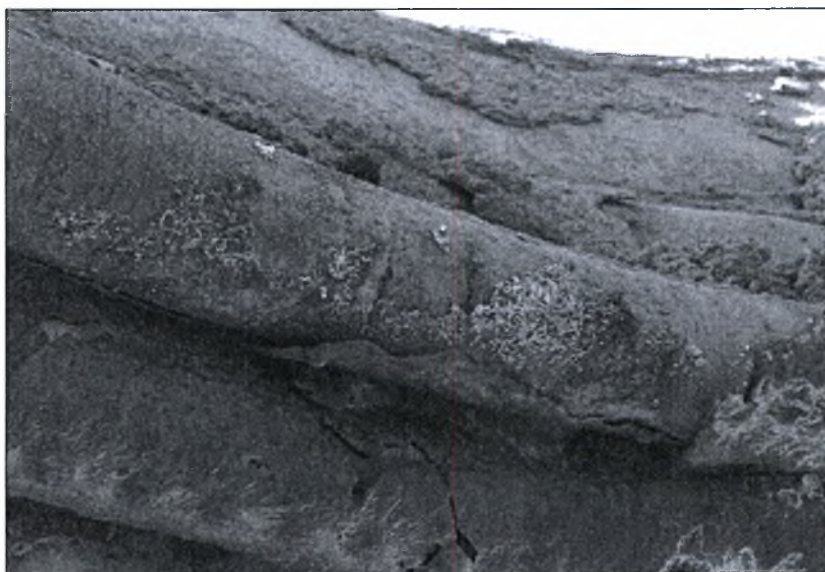
## 6. Διερεύνηση Προβλημάτων Διάβρωσης σε Ψυκτικούς Αγωγούς του Κλιβάνου

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η διερεύνηση προβλήματος διάβρωσης σε ένα ραγισμένο δείγμα που αποτελούσε μέρος των ψυκτικών κυκλωμάτων (ψυγείων) του καπακιού (Εικόνα 6.1) του κλιβάνου χύτευσης του παλαιοσίδηρου (*Electric Arc Furnace – E.A.F*).

Τα ψυγεία του καπακιού (St 35.8, εξωτερική διάμετρος 80 mm, πάχος τοιχώματος 12 mm) του κλιβάνου αποτελούν μέρος του ανοικτού ψυκτικού κυκλώματος CW/CWR (θερμοκρασία ανακυκλοφορούμενου νερού 30 – 40 °C). Πολύ συχνά στο κύκλωμα αυτό παρατηρούνται διαρροές νερού ψύξης λόγω του σχηματισμού ρωγμών (Εικόνα 6.2) στις εξωτερικές μεταλλικές επιφάνειες των ψυγείων. Τα ψυγεία αυτά βρίσκονται κοντά στα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται για τη διαβίβαση του ηλεκτρικού ρεύματος στον κλιβάνο και την τήξη του παλαιοσιδήρου (*scrap*), δηλαδή κοντά σε περιοχές πολύ υψηλών θερμοκρασιών.



Εικόνα 6.1. Καπάκι Κλιβάνου Ηλεκτρικού Τόξου (E.A.F.)



Εικόνα 6.2. Εμφάνιση ρωγμών (ραγάδων) στις εξωτερικές επιφάνειες των ψυγείων

### 6.1. Μεταλλογραφικές Αναλύσεις

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε εγκάρσιες μεταλλογραφικές τομές. Η προετοιμασία του δοκιμίου περιέλαβε κοπή με λεπτοτόμο Struers Accutom 2 του αρχικού δείγματος (Εικόνα 6.3), εγκιβωτισμό των δοκιμίων σε ρητίνη, λείανση με χαρτιά 400, 600 και 1000 grit και στίλβωση με αώρημα διαμαντόπαστας κοκκομετρίας 3μm. Η χημική προσβολή των δοκιμίων έγινε με αντιδραστήριο Nital 2%. Η παρατήρηση και φωτογράφιση έγινε στο οπτικό μεταλλογραφικό μικροσκόπιο Leitz σε μεγεθύνσεις 50 – 1000X.

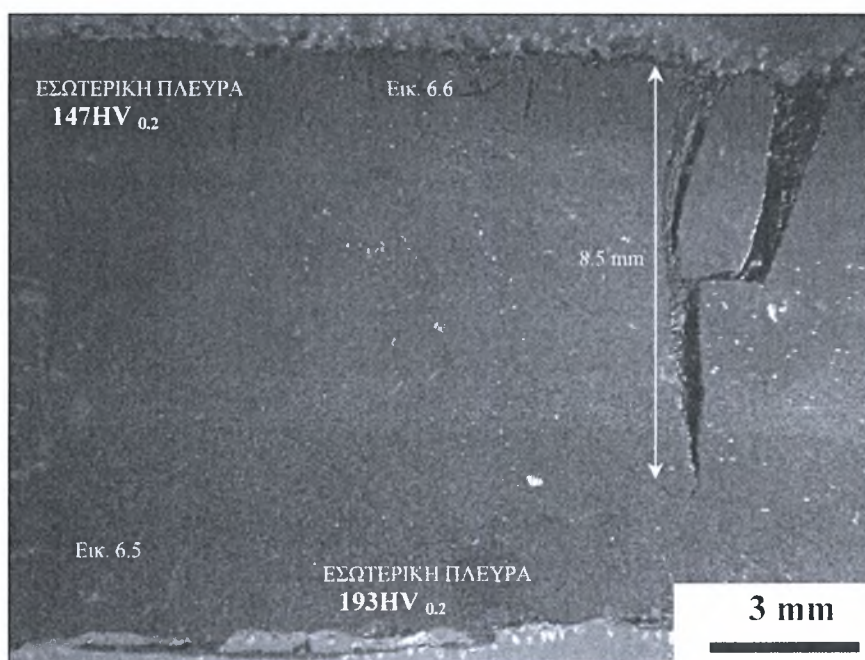
Στο δοκίμιο πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις σε μικροσκληρόμετρο SHIMADZU HVM-2000, χρησιμοποιώντας φορτίο 200 gr και τα αποτελέσματα ελήφθησαν σε κλίμακα σκληρότητας Vickers (μικροσκληρομετρήσεις).



Εικόνα 6.3. Αρχικό δείγμα

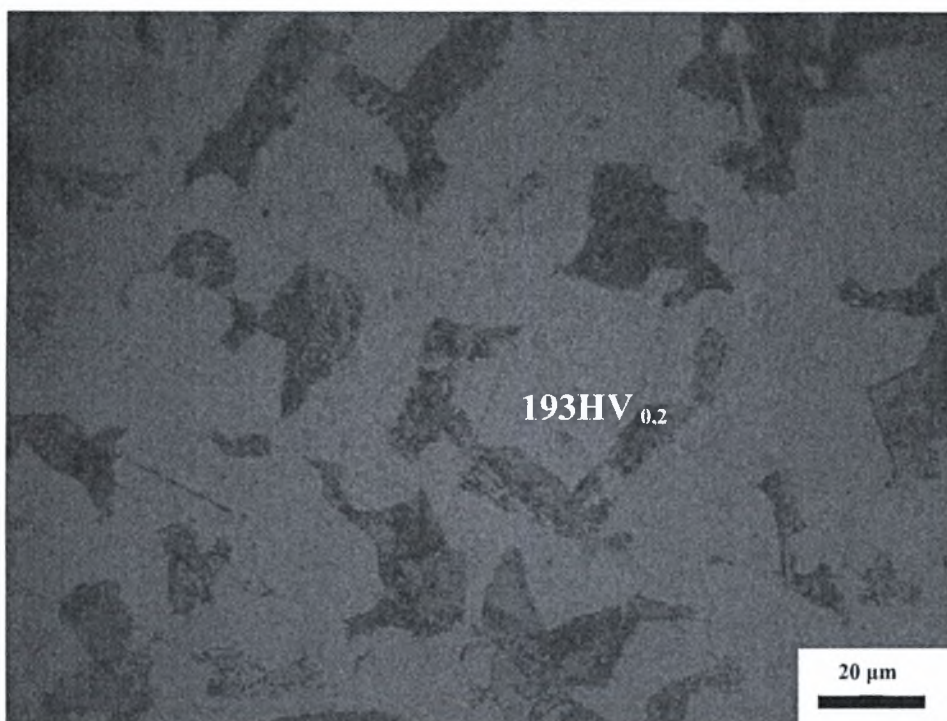
## 6.2. Συμπεράσματα των Αναλύσεων

Η μακροδομή του δοκιμίου που εξετάστηκε παρουσιάζεται στην Εικ. 6.4. Παρατηρείται μια κύρια ρωγμή η οποία ξεκινάει από την εξωτερική πλευρά του αγωγού και φτάνει ~ στο 70% της διατομής. Το βάθος της ρωγμής της Εικόνας 6.4 είναι της τάξης των 8.5 mm περίπου. Εκτός της κύριας ρωγμής παρατηρούνται δευτερεύουσες μικρότερου μήκους, οι οποίες επίσης περιέχουν προϊόντα διάβρωσης.



Εικόνα 6.4. Μικροσκοπική ανάλυση δοκιμίου. Το βάθος της ρωγμής είναι 8.4 mm.

Η Εικόνα 6.5 λήφθηκε προς την πλευρά του νερού, όπου διακρίνεται η δομή περλίτη – φερίττη, τυπικό γνώρισμα του χάλυβα αυτής της κατηγορίας (St 35.8), ενώ η τιμή για την μικροσκληρότητα αυτής της περιοχής βρέθηκε ίση με 193 HV<sub>0.2</sub>. Επιπλέον το έλασμα δεν έχει υποστεί κανενός είδους θερμική επιρροή.

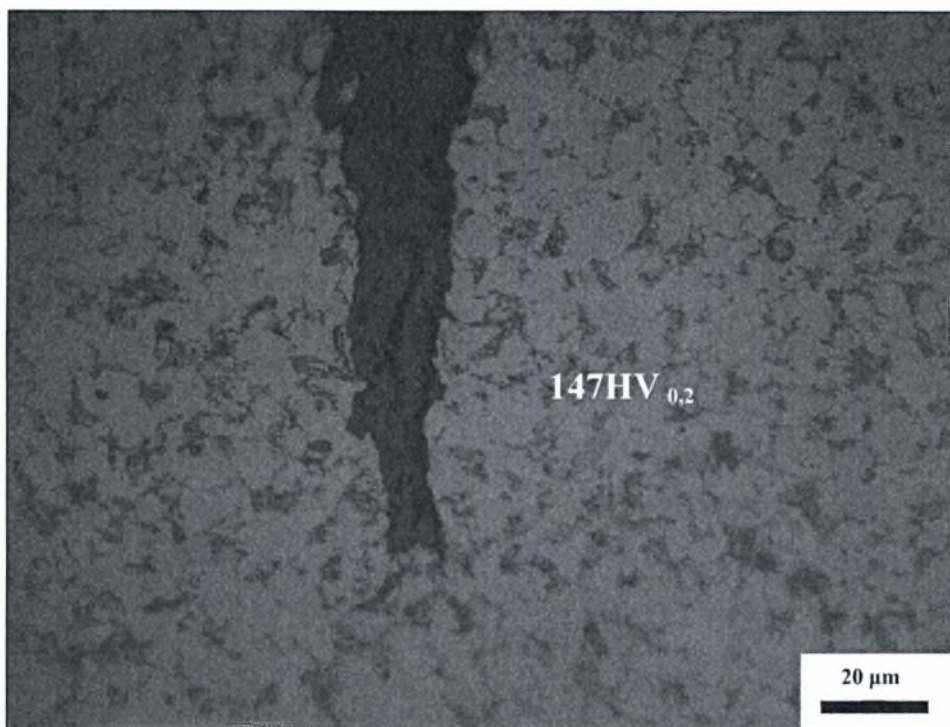


Εικόνα 6.5. Μικροσκοπική ανάλυση δοκιμίου. Δομή περλίτη – φερρίτη (193 HV<sub>0.2</sub>).

Αντιθέτως προς την μεριά του κλιβάνου (Εικόνα 6.6) υπάρχει έντονη θερμική επιρροή, η οποία εμφανίζεται ως σφαιροποίηση του περλίτη και ως μερική απανθράκωση της επιφάνειας. Η σφαιροποίηση του περλίτη παρατηρείται σε θερμοκρασίες γύρω στους 680 °C. Αξίζει να αναφερθεί ότι η περιοχή που παρατηρείται η εν λόγω σφαιροποίηση φτάνει σε βάθος 4 mm περίπου από την εξωτερική επιφάνεια του δοκιμίου (μεριά κλιβάνου), ενώ η μέτρηση της μικροσκληρότητας έδωσε μια τιμή ίση με 147 HV<sub>0.2</sub>.

Η βλάβη που προκαλείται μπορεί πιθανώς να ταξινομηθεί ως *fuel ash corrosion* και *sulfidation* σύμφωνα με τον API Recommended practice 571/2003. Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές οι επιφάνειες που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι καθαρές αλλά καλύπτονται από εναποθέσεις στάχτης και αλάτων (βλ. Εικόνα 6.2). Οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ αυτών των εναποθέσεων και του επιφανειακού οξειδίου μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή του επιφανειακού υμένα και να προκαλέσουν ταχεία διάβρωση. Πιθανή αιτία είναι η χρησιμοποίηση καυσίμου χαμηλής ποιότητας που συμβάλλει καθοριστικά σε αυτού του τύπου την διάβρωση, ιδιαίτερα εάν το καύσιμο περιέχει θείο, βανάδιο και νάτριο σε υψηλά ποσοστά. Οι εναποθέσεις που σχηματίζονται περιέχουν Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> τα οποία

σχηματίζουν ευτηκτικά μίγματα με σημείο τήξης κοντά στους 600°C. Όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του καπακιού του κλιβάνου ξεπερνά τους 900°C, οι εναποθέσεις αυτές τήκονται και προκαλούν έντονη διάβρωση.



Εικόνα 6.5. Μικροσκοπική ανάλυση δοκιμίου. Σφαιροποίηση περλίτη (147 HV<sub>0.2</sub>).

### 6.3. Προτάσεις

1. Για τα ψυγεία που τοποθετούνται στην συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να εξετασθεί εάν η ποιότητα του χάλυβα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους (St 35.8) είναι η ενδεδειγμένη για ένα τόσο «εχθρικό» περιβάλλον. Ίσως απαιτείται η εγκατάσταση ενός κράματος με μεγαλύτερη αντίσταση στην θερμοκρασία (υλικά με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χρώμιο).
2. Για την μείωση της υποβάθμισης του υλικού προτείνεται, εφόσον είναι εφικτό από πλευράς κόστους, η χρήση καυσίμου με μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο και βαρέα μέταλλα (V και Na).

## 7. Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας

Σ' αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκε η διαχείριση του νερού των ψυκτικών κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου της εταιρείας SOVEL A.E. και οι επιπτώσεις της διαχείρισης στην εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων στα κυκλώματα. Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα εξής :

- Το νερό ψύξης που κυκλοφορεί στα κυκλώματα αποκλίνει των προδιαγραφών που είχε θέσει η κατασκευάστρια εταιρεία Danieli. Η απόκλιση αυτή αφορά τόσο την ποιότητα του όσο και την ποσότητα του.
- Κύρια αιτία της ποσοτικής απόκλισης του νερού συμπλήρωσης που χρησιμοποιείται στα κυκλώματα του Χαλυβουργείου είναι η αδυναμία των υφιστάμενων γεωτρήσεων για την παροχή επαρκούς και σταθερής ποσότητας νερού.
- Ωστόσο, και κατά την πορεία του νερού των γεωτρήσεων προς την είσοδο των κυκλωμάτων και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του σαν νερό συμπλήρωσης, παρατηρούνται αυξημένες απώλειες κυρίως λόγω της υπερχειλίσεως των δεξαμενών. Οι απώλειες αυτές υπολογίστηκαν ότι για τα έτη 2003 – 2006 αγγίζουν το ποσοστό του 26 % του συνόλου του νερού που εισέρχεται στην δεξαμενή των πομωνών από τις γεωτρήσεις. Για την μείωση και τον έλεγχο των απωλειών αυτών

απαιτείται η εγκατάσταση ρυθμιστικών συστημάτων (βάνες, βαλβίδες, όργανα στάθμης κλπ.).

- Λαμβάνοντας υπόψη τους σταθερούς ρυθμούς αύξησης της δυναμικότητας του Χαλυβουργείου ως προς την παραγωγή των μπιγетών χάλυβα, αλλά και τις νέες επενδύσεις του εργοστασίου για την αύξηση της παραγωγής, είναι βέβαιο ότι οι ανάγκες σε νερό ψύξης θα αυξηθούν στο άμεσο μέλλον. Δεδομένου ότι η τιμή της αναλογίας χρησιμοποιούμενου νερού και τελικού προϊόντος γνώρισε μείωση τα τελευταία δύο χρόνια της λειτουργίας του Χαλυβουργείου, η ανάγκη εύρεσης μια αξιόπιστης λύσης κάλυψης των αναγκών σε νερό γίνεται ακόμα πιο επιτακτική.
- Η μείωση στην τιμή της αναλογίας του νερού που συμπληρώνεται στα κυκλώματα και του τελικού προϊόντος δεν αποτελεί καρπό μιας πιο σωστής διαχείρισης των ποσοτήτων του νερού, αλλά αποτελεί επιτακτική ανάγκη λόγω μη επάρκειας των νερών. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την οριακή λειτουργία του Χαλυβουργείου ως προς την κάλυψη των αναγκών του σε νερό, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.
- Το νερό συμπλήρωσης που εισέρχεται στα κυκλώματα για κάποιους από τους καλοκαιρινούς μήνες ισούται σχεδόν με τις εξατμίσεις στους πύργους ψύξης καθιστώντας ανέφικτη την πραγματοποίηση απομαστεύσεων, επιβαρύνοντας ακόμα περισσότερο την ποιότητα του ανακυκλοφορούμενου νερού.
- Οι διαρροές που παρατηρούνται συχνά σε κάποια από τα κυκλώματα παρόλο που μπορούν να θεωρηθούν σαν μη καθορισμένες απομαστεύσεις, επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο την ήδη οριακή κατάσταση και γι' αυτό το λόγο κρίθηκε σκόπιμη η διερεύνηση των αιτιών που τις προκαλούν (Κεφάλαιο 6). Μια άμεση επίπτωση των διαρροών στην ποιότητα του νερού συμπλήρωσης είναι η μη εφαρμογή των «χρονοβόρων» μεθόδων επεξεργασίας του και η απ' ευθείας τροφοδοσία του στα κυκλώματα για την κάλυψη των αναγκών.



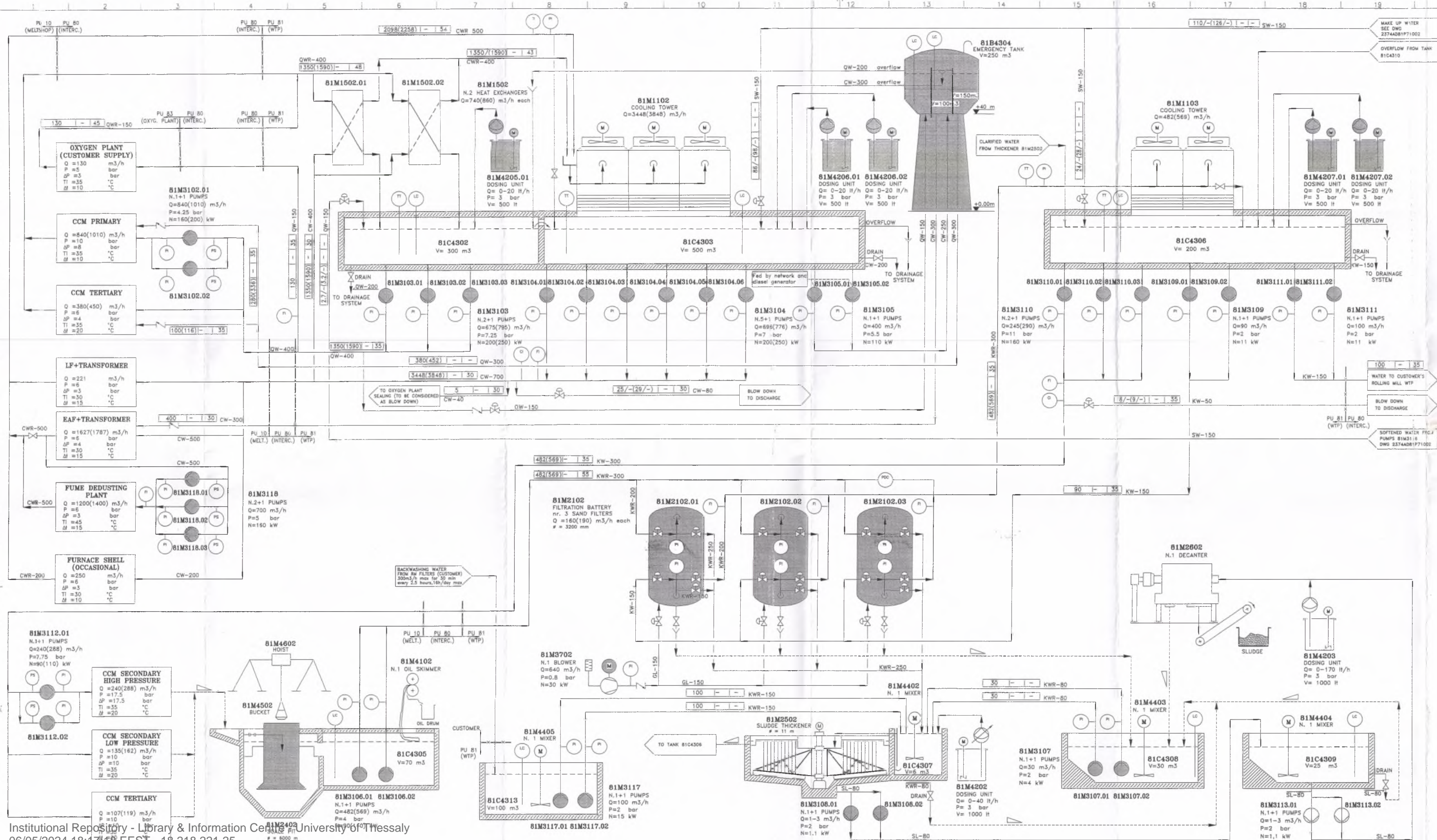
- Κύρια αιτία της ποιοτικής απόκλισης του νερού από τις προδιαγραφές είναι οι υψηλές τιμές κάποιων συστατικών του από το σημείο ακόμα των γεωτρήσεων (υφάλμυρα νερά).
- Πιο συγκεκριμένα οι υψηλές τιμές των χλωριόντων του νερού συμπλήρωσης (χρήση πομόνας S3) που ευθύνονται σε μεγάλο ποσοστό για την εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης δεν είναι δυνατό να ελαττωθούν με κάποια από τις υφιστάμενες μεθόδους επεξεργασίας του νερού. Για την επίτευξη της μείωσης της τιμής τους απαιτείται η εφαρμογή κάποιας μεθόδου αφαλάτωσης του νερού.
- Επίσης στο νερό που εισέρχεται στα κυκλώματα παρατηρούνται και αυξημένες τιμές αλκαλικότητας (M – Alkalinity). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μη αποδοτική λειτουργία του υφιστάμενου απαλκαλιωτή. Με την χρήση ενός νέου απαλκαλιωτή με δυνατότητα απαλκαλίωσης του συνόλου του νερού του Χαλυβουργείου, οι τιμές της ποιότητας του νερού, με εξαίρεση αυτή των χλωριόντων, θα βρισκόταν εντός των ορίων που θέτουν οι προδιαγραφές για τα ανοικτά κυκλώματα. Με την επιλογή και υλοποίηση επομένως ενός κατάλληλου προγράμματος χημικής επεξεργασίας θα μπορούσε να ελεγχθεί ως προς την εμφάνιση προβλημάτων και το νερό ανακυκλοφορίας του κλειστού κυκλώματος.
- Για την εκτίμηση των τάσεων του νερού ως προς την εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων υπολογίστηκαν οι «απλοί» δείκτες κορεσμού. Η χρήση των δεικτών αυτών για τα νερά του Χαλυβουργείου αδυνατεί να μας δώσει μια ξεκάθαρη και σαφή εικόνα των ενδεχόμενων προβλημάτων. Σε αρκετές περιπτώσεις μάλιστα οι διάφοροι δείκτες παρουσιάζουν αντιφατικά μεταξύ τους αποτελέσματα ιδιαίτερα όταν αφορούν νερά που έχουν υποστεί χημική επεξεργασία με την προσθήκη διάφορων αναστολέων.
- Για την πρόβλεψη των προβλημάτων που μπορεί να προκαλέσει κάποιο νερό γνωστής ποιοτικής σύστασης χρησιμοποιούνται μοντέλα, τα οποία άρουν τα μειονεκτήματα στον υπολογισμό και στην χρήση των «απλών» δεικτών κορεσμού.

Η τάση στην ανάπτυξη των μοντέλων αυτών είναι η ενσωμάτωση στους υπολογισμούς διαφόρων παραμέτρων, όπως η δοσολογία των αναστολέων και των ουσιών χημικής επεξεργασίας, η κινητική της αντίδρασης σχηματισμού των καθυλατώσεων και η εφαρμογή τους για ένα πεδίο τιμών των ποιοτικών παραμέτρων του νερού [20,21].

- Η εικόνα της χρήσης αυτών των υπολογιστικών μοντέλων και προγραμμάτων θα πρέπει να συμπληρώνεται και από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την χρήση των «μαρτύρων» διάβρωσης καθώς και από την συνεχή παρακολούθηση των δεδομένων, με την εφαρμογή ισοζυγίων για κάποια συστατικά του νερού ιδιαίτερης σημασίας ως προς την εμφάνιση και εκδήλωση των προβλημάτων διάβρωσης και επικαθίσεων (π.χ. σκληρότητα ασβεστίου και σίδηρος).
- Από την ποσοτική και ποιοτική προσέγγιση της διαχείρισης του νερού ψύξης των κυκλωμάτων του Χαλυβουργείου αναδεικνύεται η ανάγκη εφαρμογής μεθόδων που θα εξασφαλίζουν κάποιες βέλτιστες τιμές της ποιότητας του, εκμεταλλευόμενες παράλληλα σε μεγάλο βαθμό τις ήδη υπάρχουσες ποσότητες που διακινούνται. Αυτό μπορεί να γίνει με την εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης των υφάλμυρων νερών και με την ανακύκλωση των ποσοτήτων που οδηγούνται προς το αποχετευτικό δίκτυο του εργοστασίου υπό την παρούσα κατάσταση λειτουργίας.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄**

### **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΨΥΞΗΣ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ ΤΗΣ SOVEL A.E.**



**LEGEND**

**USER NAME**  
 Q = FLOW RATE m<sup>3</sup>/h  
 P = MIN. OPER. PRESSURE (bar)  
 ΔP = PRESSURE DROP (bar)  
 T = INLET TEMPERATURE °C  
 ΔT = TEMPERATURE INCREASE °C

FOR MAKE-UP AND BLOW-DOWN

FOR ALL OTHER FLUIDS

BATTERY LIMIT

CUSTOMER SUPPLY EQUIPMENT

SLOPE

OPEN CHANNEL

**NOTES**

- ALL PRESSURE ARE REFERRED TO LEVEL + 0.00 m  
 - ALL INDICATED ΔT AT THE USERS ARE TO BE CONSIDERED AS PEAK.

26/06 00	ISSUED FOR INFORMATION		
Rev.	Date	Revisions description	Drawn / Checked / Approved
SOVEL - GREECE			
Job No.	No. of parts	Progr. No.	Revision
<b>DANIELI ENGINEERING</b>		Danieli Item (TFC)	
Contractual Item		Obtained from	
Replaces		Shop dw number	
Material	Heat treatment	Mass (Kg)	Jmm. <sup>2</sup> (Kg m <sup>2</sup> )
Classification / symbol	Title		
WTP COOLING CIRCUITS PROCESS FLOW DIAGRAM			
DANIELI dw number	Revision	Nr. of sheets	
2374AD81P71001	00	Sheet / Follow	

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄**

### **ΦΥΛΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HYDRAQL**



• OUTPUT DATA

Calculation of Supersaturation in Make Up Water Avg. 2006 - average (pH=7.6)  
Iannis Katsinaris (all ions)

Calculated Ionic Strength : 0.952E-02  
 Total Charge of Soluble Species (in equiv.) : -0.133E-02  
 Total Charge of the Specified System : -0.133E-02  
 Activity Coefficients at Equilibrium Ionic Strength are :  
 Logs are :           0.904       0.669       0.405       0.200       0.810E-01  
                   -0.044       -0.175       -0.393       -0.698       -1.091

OUTPUT DATA: Iterations : 5

ID	X	LogX	T	Y	Species
112	5.07E-12	-11.29	2.00E-04	0.00E-01	SiO3
5	6.49E-03	-2.19	6.50E-03	1.40E-18	Na
4	5.38E-04	-3.27	5.40E-04	1.79E-19	K
1	3.83E-04	-3.42	4.00E-04	1.97E-19	Ca
2	1.05E-04	-3.98	1.10E-04	3.66E-20	Mg
3	9.47E-07	-6.02	1.00E-06	1.77E-22	Sr
12	3.30E-07	-6.48	5.00E-07	2.41E-20	Zn
103	6.90E-03	-2.16	6.90E-03	-2.35E-18	Cl
101	3.24E-06	-5.49	1.40E-03	1.44E-18	CO3
102	3.46E-04	-3.46	3.70E-04	-7.42E-20	SO4
157	4.19E-04	-3.38	4.20E-04	-1.33E-19	NO3
50	2.78E-08	-7.56	0.00E-01	0.00E-01	H

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type I - Components
112	5.07E-12	-11.29	0.00	SiO3	1.0
5	6.49E-03	-2.19	0.00	Na	1.0
4	5.38E-04	-3.27	0.00	K	1.0
1	3.83E-04	-3.42	0.00	Ca	1.0
2	1.05E-04	-3.98	0.00	Mg	1.0
3	9.47E-07	-6.02	0.00	Sr	1.0
12	3.30E-07	-6.48	0.00	Zn	1.0
103	6.90E-03	-2.16	0.00	Cl	1.0
101	3.24E-06	-5.49	0.00	CO3	1.0
102	3.46E-04	-3.46	0.00	SO4	1.0
157	4.19E-04	-3.38	0.00	NO3	1.0

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type II - Complexes
13595	3.96E-07	-6.40	-13.96	H	-1.0
1000	8.69E-07	-6.06	2.85	Ca	1.0 CO3 1.0
1010	4.28E-06	-5.37	11.09	Ca	1.0 CO3 1.0 H 1.0
1020	1.19E-05	-4.92	1.95	Ca	1.0 SO4 1.0
1350	1.35E-09	-8.87	-13.01	Ca	1.0 H -1.0
1360	1.12E-07	-6.95	2.52	Mg	1.0 CO3 1.0
1370	8.07E-07	-6.09	10.93	Mg	1.0 CO3 1.0 H 1.0
1380	4.02E-06	-5.40	2.04	Mg	1.0 SO4 1.0
1385	5.08E-08	-7.29	-1.15	Mg	1.0 Cl 1.0
1740	1.67E-08	-7.78	-11.36	Mg	1.0 H -1.0
1751	5.17E-08	-7.29	2.20	Sr	1.0 SO4 1.0
1950	6.92E-12	-11.16	-12.69	Sr	1.0 H -1.0
1952	1.72E-09	-8.77	0.64	Sr	1.0 NO3 1.0
1954	1.17E-13	-12.93	-0.15	Sr	1.0 NO3 2.0
1960	8.61E-07	-6.06	0.67	K	1.0 SO4 1.0

1962	6.06E-07	-6.22	-0.79	K	1.0	Cl	1.0		
1966	1.35E-07	-6.87	-0.22	K	1.0	NO3	1.0		
2000	2.39E-07	-6.62	1.06	Na	1.0	CO3	1.0		
2005	3.98E-06	-5.40	9.83	Na	1.0	CO3	1.0	H	1.0
2010	7.43E-06	-5.13	0.52	Na	1.0	SO4	1.0		
2032	5.58E-07	-6.25	-0.69	Na	1.0	NO3	1.0		
5955	9.52E-08	-7.02	4.95	Zn	1.0	CO3	1.0		
5956	6.59E-09	-8.18	9.28	Zn	1.0	CO3	2.0		
5960	1.19E-08	-7.92	2.02	Zn	1.0	SO4	1.0		
5965	3.36E-11	-10.47	2.93	Zn	1.0	SO4	2.0		
5970	4.04E-09	-8.39	0.25	Zn	1.0	Cl	1.0		
5980	2.21E-11	-10.66	0.15	Zn	1.0	Cl	2.0		
5990	1.87E-13	-12.73	0.24	Zn	1.0	Cl	3.0		
5995	7.91E-16	-15.10	0.02	Zn	1.0	Cl	4.0		
6200	4.78E-15	-14.32	-8.91	Zn	2.0	H	-1.0		
6210	4.58E-26	-25.34	-57.71	Zn	2.0	H	-6.0		
6740	1.06E-08	-7.97	-9.05	Zn	1.0	H	-1.0		
6750	4.40E-09	-8.36	-16.99	Zn	1.0	H	-2.0		
6760	6.12E-13	-12.21	-28.40	Zn	1.0	H	-3.0		
6765	5.22E-18	-17.28	-41.03	Zn	1.0	H	-4.0		
6766	1.81E-09	-8.74	-7.66	Zn	1.0	Cl	1.0	H	-1.0
6767	3.57E-08	-7.45	12.08	Zn	1.0	CO3	1.0	H	1.0
12530	1.32E-03	-2.88	10.17	CO3	1.0	H	1.0		
12540	6.91E-05	-4.16	16.44	CO3	1.0	H	2.0		
12550	5.97E-10	-9.22	1.79	SO4	1.0	H	1.0		
12710	1.22E-06	-5.92	12.94	SiO3	1.0	H	1.0		
12720	1.99E-04	-3.70	22.71	SiO3	1.0	H	2.0		

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type	III - Fixed Solids
50	-1.86E-03	-2.73	7.56	H	1.0	

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type	VI - Species not Considered
20140	3.63E-05	-4.44	5.03	Mg	1.0	CO3 1.0
20130	5.34E-11	-10.27	-21.97	Ca	1.0	H -2.0
20070	4.69E-07	-6.33	8.38	SiO3	1.0	Ca 1.0
20200	1.33E-06	-5.88	-17.01	Mg	1.0	H -2.0
20146	2.31E-06	-5.64	1.80	Mg	1.0	SO4 1.0
20702	2.34E-03	-2.63	-11.26	Zn	1.0	H -2.0
20240	5.34E-16	-15.27	2.05	SiO3	1.0	Sr 1.0
24450	5.62E-10	-9.25	104.66	SiO3	6.0	Mg 4.0 H 4.0
20660	2.34E+00	0.37	18.15	SiO3	1.0	Zn 1.0
21446	5.94E-01	-0.23	26.18	SiO3	1.0	H 2.0
21444	1.14E+00	0.06	26.46	SiO3	1.0	H 2.0
21442	1.13E-01	-0.95	25.46	SiO3	1.0	H 2.0
21440	2.13E+00	0.33	26.74	SiO3	1.0	H 2.0
20700	1.15E-04	-3.94	-12.57	Zn	1.0	H -2.0
20630	3.34E-02	-1.48	10.50	Zn	1.0	CO3 1.0
20220	2.31E-04	-3.64	5.85	Sr	1.0	SO4 1.0
20210	9.72E-04	-3.01	8.50	Sr	1.0	CO3 1.0
20145	8.12E-03	-2.09	16.28	Ca	1.0	Mg 1.0 CO3 2.0
20144	3.17E-09	-8.50	-10.16	Mg	2.0	CO3 1.0 H -2.0
20142	5.98E-05	-4.22	5.24	Mg	1.0	CO3 1.0
20012	7.47E-04	-3.13	3.75	Ca	1.0	SO4 1.0
20010	1.23E-03	-2.91	3.97	Ca	1.0	SO4 1.0
20002	4.39E-02	-1.36	7.55	Ca	1.0	CO3 1.0 βατερίτης
20001	1.24E-01	-0.91	8.00	Ca	1.0	CO3 1.0 αραγωνίτης
20000	1.64E-01	-0.79	8.12	Ca	1.0	CO3 1.0 ασβεστίτης
25000	1.91E-03	-2.72	17.88	CO3	1.0	H 2.0





• OUTPUT DATA

Calculation of Supersaturation in QW Jan. 2006 - average (pH=8.1)  
Iannis Katsinaris (all ions)

Calculated Ionic Strength : 0.727E-02  
Total Charge of Soluble Species (in equiv.) : -0.130E-02  
Total Charge of the Specified System : -0.130E-02  
Activity Coefficients at Equilibrium Ionic Strength are :  
Logs are :           0.913       0.696       0.443       0.235       0.104  
                  -0.039       -0.157       -0.354       -0.629       -0.983

OUTPUT DATA: Iterations : 5

ID	X	LogX	T	Y	Species
112	2.02E-10	-9.69	5.00E-04	5.42E-20	SiO3
5	3.99E-03	-2.40	4.00E-03	-1.17E-18	Na
4	4.99E-04	-3.30	5.00E-04	1.65E-19	K
1	4.75E-04	-3.32	5.00E-04	1.88E-16	Ca
2	1.43E-04	-3.84	1.50E-04	2.93E-17	Mg
3	9.57E-07	-6.02	1.00E-06	7.00E-20	Sr
12	1.71E-07	-6.77	5.00E-07	7.66E-16	Zn
103	4.70E-03	-2.33	4.70E-03	-1.68E-18	Cl
101	1.22E-05	-4.91	1.50E-03	1.11E-15	CO3
102	2.49E-04	-3.60	2.70E-04	1.12E-16	SO4
157	3.50E-04	-3.46	3.50E-04	-5.65E-20	NO3
50	8.70E-09	-8.06	0.00E-01	0.00E-01	H

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type I - Components
112	2.02E-10	-9.69	0.00	SiO3	1.0
5	3.99E-03	-2.40	0.00	Na	1.0
4	4.99E-04	-3.30	0.00	K	1.0
1	4.75E-04	-3.32	0.00	Ca	1.0
2	1.43E-04	-3.84	0.00	Mg	1.0
3	9.57E-07	-6.02	0.00	Sr	1.0
12	1.71E-07	-6.77	0.00	Zn	1.0
103	4.70E-03	-2.33	0.00	Cl	1.0
101	1.22E-05	-4.91	0.00	CO3	1.0
102	2.49E-04	-3.60	0.00	SO4	1.0
157	3.50E-04	-3.46	0.00	NO3	1.0

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type II - Complexes
13595	2.30E-06	-5.64	-13.70	H	-1.0
1000	5.82E-06	-5.23	3.00	Ca	1.0 CO3 1.0
1010	6.54E-06	-5.18	11.11	Ca	1.0 CO3 1.0 H 1.0
1020	1.24E-05	-4.91	2.02	Ca	1.0 SO4 1.0
1350	1.19E-08	-7.92	-12.66	Ca	1.0 H -1.0
1360	7.22E-07	-6.14	2.62	Mg	1.0 CO3 1.0
1370	1.25E-06	-5.90	10.91	Mg	1.0 CO3 1.0 H 1.0
1380	4.58E-06	-5.34	2.11	Mg	1.0 SO4 1.0
1385	3.91E-08	-7.41	-1.24	Mg	1.0 Cl 1.0
1740	1.58E-07	-6.80	-11.02	Mg	1.0 H -1.0
1751	4.17E-08	-7.38	2.24	Sr	1.0 SO4 1.0
1950	2.42E-11	-10.62	-12.66	Sr	1.0 H -1.0
1952	1.34E-09	-8.87	0.60	Sr	1.0 NO3 1.0
1954	7.79E-14	-13.11	-0.18	Sr	1.0 NO3 2.0
1960	6.67E-07	-6.18	0.73	K	1.0 SO4 1.0
1962	3.92E-07	-6.41	-0.78	K	1.0 Cl 1.0
1966	9.17E-08	-7.04	-0.28	K	1.0 NO3 1.0

2000	8.93E-07	-6.05	1.26	Na	1.0	CO3	1.0		
2005	2.58E-06	-5.59	9.78	Na	1.0	CO3	1.0	H	1.0
2010	3.62E-06	-5.44	0.56	Na	1.0	SO4	1.0		
2032	2.94E-07	-6.53	-0.68	Na	1.0	NO3	1.0		
5955	2.02E-07	-6.69	4.99	Zn	1.0	CO3	1.0		
5956	5.29E-08	-7.28	9.32	Zn	1.0	CO3	2.0		
5960	4.84E-09	-8.32	2.06	Zn	1.0	SO4	1.0		
5965	9.78E-12	-11.01	2.97	Zn	1.0	SO4	2.0		
5970	1.58E-09	-8.80	0.29	Zn	1.0	Cl	1.0		
5980	8.74E-12	-11.06	0.37	Zn	1.0	Cl	2.0		
5990	3.27E-14	-13.49	0.27	Zn	1.0	Cl	3.0		
5995	9.22E-17	-16.04	0.04	Zn	1.0	Cl	4.0		
6200	4.03E-15	-14.39	-8.92	Zn	2.0	H	-1.0		
6210	1.28E-23	-22.89	-57.72	Zn	2.0	H	-6.0		
6740	1.80E-08	-7.74	-9.04	Zn	1.0	H	-1.0		
6750	2.38E-08	-7.62	-16.98	Zn	1.0	H	-2.0		
6760	1.04E-11	-10.98	-28.40	Zn	1.0	H	-3.0		
6765	2.72E-16	-15.57	-41.04	Zn	1.0	H	-4.0		
6766	2.13E-09	-8.67	-7.64	Zn	1.0	Cl	1.0	H	-1.0
6767	2.37E-08	-7.62	12.12	Zn	1.0	CO3	1.0	H	1.0
12530	1.45E-03	-2.84	10.13	CO3	1.0	H	1.0		
12540	2.33E-05	-4.63	16.40	CO3	1.0	H	2.0		
12550	1.78E-10	-9.75	1.92	SO4	1.0	H	1.0		
12710	1.26E-05	-4.90	12.85	SiO3	1.0	H	1.0		
12720	4.87E-04	-3.31	22.50	SiO3	1.0	H	2.0		

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type III - Fixed Solids
50	-2.49E-03	-2.60	8.06	H	1.0

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type VI - Species not Considered
20140	2.58E-04	-3.59	5.17	Mg	1.0 CO3 1.0
20130	5.59E-10	-9.25	-22.05	Ca	1.0 H -2.0
20070	1.77E-05	-4.75	8.26	SiO3	1.0 Ca 1.0
20200	7.28E-05	-4.14	-16.42	Mg	1.0 H -2.0
20146	2.14E-06	-5.67	1.78	Mg	1.0 SO4 1.0
20702	1.82E-02	-1.74	-11.09	Zn	1.0 H -2.0
20240	2.45E-14	-13.61	2.10	SiO3	1.0 Sr 1.0
24450	4.81E-02	-1.32	104.46	SiO3	6.0 Mg 4.0 H 4.0
20660	5.50E+01	1.74	18.20	SiO3	1.0 Zn 1.0
21446	1.10E+00	0.04	25.86	SiO3	1.0 H 2.0
21444	2.06E+00	0.31	26.13	SiO3	1.0 H 2.0
21442	2.34E-01	-0.63	25.18	SiO3	1.0 H 2.0
21440	3.78E+00	0.58	26.39	SiO3	1.0 H 2.0
20700	8.93E-04	-3.05	-12.40	Zn	1.0 H -2.0
20630	4.33E-02	-1.36	10.32	Zn	1.0 CO3 1.0
20220	1.86E-04	-3.73	5.89	Sr	1.0 SO4 1.0
20210	2.58E-03	-2.59	8.34	Sr	1.0 CO3 1.0
20145	3.44E-01	-0.46	16.53	Ca	1.0 Mg 1.0 CO3 2.0
20144	1.02E-06	-5.99	-9.51	Mg	2.0 CO3 1.0 H -2.0
20142	4.42E-04	-3.35	5.40	Mg	1.0 CO3 1.0
20012	8.92E-04	-3.05	3.88	Ca	1.0 SO4 1.0
20010	1.21E-03	-2.92	4.01	Ca	1.0 SO4 1.0
20002	2.53E-01	-0.60	7.64	Ca	1.0 CO3 1.0 βατερίτης
20001	7.06E-01	-0.15	8.08	Ca	1.0 CO3 1.0 αραγωνίτης
20000	9.28E-01	-0.03	8.20	Ca	1.0 CO3 1.0 ασβεσίτης
25000	7.14E-04	-3.15	17.89	CO3	1.0 H 2.0



• OUTPUT DATA

Calculation of Supersaturation in CW Avg. 2006 - average (pH=9.0)  
Iannis Katsinaris (all ions)

Calculated Ionic Strength : 0.273E-01  
 Total Charge of Soluble Species (in equiv.) : -0.472E-02  
 Total Charge of the Specified System : -0.472E-02  
 Activity Coefficients at Equilibrium Ionic Strength are :  
 Logs are :           0.854       0.533       0.243       0.807E-01   0.196E-01  
                   -0.068       -0.273       -0.615       -1.093       -1.708

OUTPUT DATA: Iterations : 6

ID	X	LogX	T	Y	Species
112	1.36E-08	-7.87	6.00E-04	-1.08E-19	SiO3
5	1.82E-02	-1.74	1.83E-02	-7.26E-19	Na
4	9.92E-04	-3.00	1.00E-03	-1.51E-19	K
1	9.97E-04	-3.00	1.23E-03	8.68E-19	Ca
2	4.27E-04	-3.37	5.00E-04	2.96E-19	Mg
3	8.86E-07	-6.05	1.00E-06	1.32E-21	Sr
12	4.65E-09	-8.33	5.00E-07	6.83E-19	Zn
103	1.93E-02	-1.71	1.93E-02	7.03E-19	Cl
101	2.61E-04	-3.58	3.90E-03	-1.30E-18	CO3
102	1.22E-03	-2.91	1.40E-03	7.05E-19	SO4
157	8.97E-04	-3.05	9.00E-04	-4.40E-19	NO3
50	1.17E-09	-8.93	0.00E-01	0.00E-01	H

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type I - Components
112	1.36E-08	-7.87	0.00	SiO3	1.0
5	1.82E-02	-1.74	0.00	Na	1.0
4	9.92E-04	-3.00	0.00	K	1.0
1	9.97E-04	-3.00	0.00	Ca	1.0
2	4.27E-04	-3.37	0.00	Mg	1.0
3	8.86E-07	-6.05	0.00	Sr	1.0
12	4.65E-09	-8.33	0.00	Zn	1.0
103	1.93E-02	-1.71	0.00	Cl	1.0
101	2.61E-04	-3.58	0.00	CO3	1.0
102	1.22E-03	-2.91	0.00	SO4	1.0
157	8.97E-04	-3.05	0.00	NO3	1.0

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type II - Complexes
13595	1.48E-05	-4.83	-13.76	H	-1.0
1000	1.36E-04	-3.87	2.72	Ca	1.0 CO3 1.0
1010	2.37E-05	-4.63	10.89	Ca	1.0 CO3 1.0 H 1.0
1020	7.30E-05	-4.14	1.78	Ca	1.0 SO4 1.0
1350	1.15E-07	-6.94	-12.87	Ca	1.0 H -1.0
1360	2.54E-05	-4.59	2.36	Mg	1.0 CO3 1.0
1370	6.67E-06	-5.18	10.71	Mg	1.0 CO3 1.0 H 1.0
1380	3.84E-05	-4.42	1.87	Mg	1.0 SO4 1.0
1385	4.07E-07	-6.39	-1.31	Mg	1.0 Cl 1.0
1740	2.18E-06	-5.66	-11.22	Mg	1.0 H -1.0
1751	1.11E-07	-6.96	2.01	Sr	1.0 SO4 1.0
1950	1.42E-10	-9.85	-12.73	Sr	1.0 H -1.0
1952	2.58E-09	-8.59	0.51	Sr	1.0 NO3 1.0
1954	3.37E-13	-12.47	-0.33	Sr	1.0 NO3 2.0
1960	4.77E-06	-5.32	0.59	K	1.0 SO4 1.0
1962	2.80E-06	-5.55	-0.84	K	1.0 Cl 1.0
1966	4.38E-07	-6.36	-0.31	K	1.0 NO3 1.0
2000	5.49E-05	-4.26	1.06	Na	1.0 CO3 1.0

2005	2.45E-05	-4.61	9.65	Na	1.0	CO3	1.0	H	1.0
2010	6.06E-05	-4.22	0.44	Na	1.0	SO4	1.0		
2032	3.00E-06	-5.52	-0.74	Na	1.0	NO3	1.0		
5955	6.95E-08	-7.16	4.76	Zn	1.0	CO3	1.0		
5956	3.88E-07	-6.41	9.09	Zn	1.0	CO3	2.0		
5960	3.82E-10	-9.42	1.83	Zn	1.0	SO4	1.0		
5965	3.80E-12	-11.42	2.74	Zn	1.0	SO4	2.0		
5970	1.32E-10	-9.88	0.17	Zn	1.0	Cl	1.0		
5980	2.22E-12	-11.65	0.11	Zn	1.0	Cl	2.0		
5990	4.14E-14	-13.38	0.09	Zn	1.0	Cl	3.0		
5995	5.48E-16	-15.26	-0.07	Zn	1.0	Cl	4.0		
6200	2.54E-17	-16.60	-8.86	Zn	2.0	H	-1.0		
6210	1.84E-21	-20.74	-57.66	Zn	2.0	H	-6.0		
6740	3.20E-09	-8.50	-9.10	Zn	1.0	H	-1.0		
6750	3.14E-08	-7.50	-17.04	Zn	1.0	H	-2.0		
6760	1.16E-10	-9.94	-28.40	Zn	1.0	H	-3.0		
6765	2.94E-14	-13.53	-40.93	Zn	1.0	H	-4.0		
6766	1.36E-09	-8.87	-7.75	Zn	1.0	Cl	1.0	H	-1.0
6767	1.10E-09	-8.96	11.89	Zn	1.0	CO3	1.0	H	1.0
12530	3.36E-03	-2.47	10.04	CO3	1.0	H	1.0		
12540	6.49E-06	-5.19	16.26	CO3	1.0	H	2.0		
12550	8.12E-11	-10.09	1.75	SO4	1.0	H	1.0		
12710	9.65E-05	-4.02	12.78	SiO3	1.0	H	1.0		
12720	5.03E-04	-3.30	22.43	SiO3	1.0	H	2.0		

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type III - Fixed Solids
50	-4.51E-03	-2.35	8.93	H	1.0

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type VI - Species not Considered
20140	8.71E-03	-2.06	4.89	Mg	1.0 CO3 1.0
20130	6.24E-08	-7.20	-22.07	Ca	1.0 H -2.0
20070	1.72E-03	-2.77	8.10	SiO3	1.0 Ca 1.0
20200	5.75E-03	-2.24	-16.73	Mg	1.0 H -2.0
20146	1.97E-05	-4.71	1.58	Mg	1.0 SO4 1.0
20702	2.05E-02	-1.69	-11.22	Zn	1.0 H -2.0
20240	8.78E-13	-12.06	1.86	SiO3	1.0 Sr 1.0
24450	9.22E+06	6.96	103.38	SiO3	6.0 Mg 4.0 H 4.0
20660	5.81E+01	1.76	17.96	SiO3	1.0 Zn 1.0
21446	1.29E+00	0.11	25.84	SiO3	1.0 H 2.0
21444	2.44E+00	0.39	26.12	SiO3	1.0 H 2.0
21442	2.61E-01	-0.58	25.15	SiO3	1.0 H 2.0
21440	4.51E+00	0.65	26.39	SiO3	1.0 H 2.0
20700	1.00E-03	-3.00	-12.53	Zn	1.0 H -2.0
20630	1.85E-02	-1.73	10.18	Zn	1.0 CO3 1.0
20220	4.95E-04	-3.31	5.66	Sr	1.0 SO4 1.0
20210	3.67E-02	-1.44	8.20	Sr	1.0 CO3 1.0
20145	2.86E+02	2.46	15.99	Ca	1.0 Mg 1.0 CO3 2.0
20144	2.97E-03	-2.53	-10.07	Mg	2.0 CO3 1.0 H -2.0
20142	1.47E-02	-1.83	5.12	Mg	1.0 CO3 1.0
20012	4.94E-03	-2.31	3.61	Ca	1.0 SO4 1.0
20010	7.32E-03	-2.14	3.78	Ca	1.0 SO4 1.0
20002	6.32E+00	0.80	7.39	Ca	1.0 CO3 1.0
20001	1.78E+01	1.25	7.83	Ca	1.0 CO3 1.0 απαγωγής
20000	2.34E+01	1.37	7.95	Ca	1.0 CO3 1.0 ασβεστίτης
25000	1.90E-04	-3.72	17.73	CO3	1.0 H 2.0







2000	3.21E-05	-4.49	1.23	Na	1.0	CO3	1.0		
2005	2.45E-05	-4.61	9.54	Na	1.0	CO3	1.0	H	1.0
2010	7.17E-05	-4.14	0.44	Na	1.0	SO4	1.0		
2032	2.51E-06	-5.60	-0.74	Na	1.0	NO3	1.0		
5955	1.39E-07	-6.86	4.72	Zn	1.0	CO3	1.0		
5956	2.98E-07	-6.53	9.05	Zn	1.0	CO3	2.0		
5960	2.26E-09	-8.65	1.79	Zn	1.0	SO4	1.0		
5965	2.53E-11	-10.60	2.70	Zn	1.0	SO4	2.0		
5970	8.36E-10	-9.08	0.17	Zn	1.0	Cl	1.0		
5980	2.17E-11	-10.66	0.27	Zn	1.0	Cl	2.0		
5990	2.86E-13	-12.54	0.06	Zn	1.0	Cl	3.0		
5995	4.21E-15	-14.38	-0.09	Zn	1.0	Cl	4.0		
6200	2.67E-16	-15.57	-8.85	Zn	2.0	H	-1.0		
6210	5.77E-23	-22.24	-57.65	Zn	2.0	H	-6.0		
6740	5.61E-09	-8.25	-9.10	Zn	1.0	H	-1.0		
6750	1.72E-08	-7.76	-17.04	Zn	1.0	H	-2.0		
6760	2.04E-11	-10.69	-28.40	Zn	1.0	H	-3.0		
6765	1.69E-15	-14.77	-40.91	Zn	1.0	H	-4.0		
6766	2.54E-09	-8.60	-7.77	Zn	1.0	Cl	1.0	H	-1.0
6767	7.04E-09	-8.15	11.85	Zn	1.0	CO3	1.0	H	1.0
12530	3.52E-03	-2.45	9.97	CO3	1.0	H	1.0		
12540	2.04E-05	-4.69	16.16	CO3	1.0	H	2.0		
12550	3.55E-10	-9.45	1.84	SO4	1.0	H	1.0		
12710	3.81E-05	-4.42	12.67	SiO3	1.0	H	1.0		
12720	4.62E-04	-3.34	22.18	SiO3	1.0	H	2.0		

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type	III - Fixed Solids
50	-4.60E-03	-2.34	8.43	H	1.0	

ID	C	LogC	LogK	Species:	Type	VI - Species not Considered
20140	7.15E-03	-2.15	4.96	Mg	1.0	CO3 1.0
20130	9.54E-09	-8.02	-22.17	Ca	1.0	H -2.0
20070	3.53E-04	-3.45	7.91	SiO3	1.0	Ca 1.0
20200	3.85E-03	-2.41	-16.16	Mg	1.0	H -2.0
20146	3.25E-05	-4.49	1.48	Mg	1.0	SO4 1.0
20702	1.61E-02	-1.79	-11.07	Zn	1.0	H -2.0
20240	1.35E-13	-12.87	1.84	SiO3	1.0	Sr 1.0
24450	5.01E+04	4.70	102.77	SiO3	6.0	Mg 4.0 H 4.0
20660	5.14E+01	1.71	17.94	SiO3	1.0	Zn 1.0
21446	9.00E-01	-0.05	25.47	SiO3	1.0	H 2.0
21444	1.66E+00	0.22	25.73	SiO3	1.0	H 2.0
21442	2.02E-01	-0.69	24.82	SiO3	1.0	H 2.0
21440	3.01E+00	0.48	25.99	SiO3	1.0	H 2.0
20700	7.87E-04	-3.10	-12.38	Zn	1.0	H -2.0
20630	2.28E-02	-1.64	9.93	Zn	1.0	CO3 1.0
20220	5.19E-04	-3.28	5.63	Sr	1.0	SO4 1.0
20210	8.23E-03	-2.08	7.97	Sr	1.0	CO3 1.0
20145	1.90E+02	2.28	16.09	Ca	1.0	Mg 1.0 CO3 2.0
20144	1.36E-03	-2.87	-9.51	Mg	2.0	CO3 1.0 H -2.0
20142	1.25E-02	-1.90	5.20	Mg	1.0	CO3 1.0
20012	1.23E-02	-1.91	3.66	Ca	1.0	SO4 1.0
20010	1.50E-02	-1.82	3.74	Ca	1.0	SO4 1.0
20002	4.94E+00	0.69	7.40	Ca	1.0	CO3 1.0
20001	1.37E+01	1.14	7.84	Ca	1.0	CO3 1.0
20000	1.80E+01	1.26	7.96	Ca	1.0	CO3 1.0
25000	6.62E-04	-3.18	17.67	CO3	1.0	H 2.0

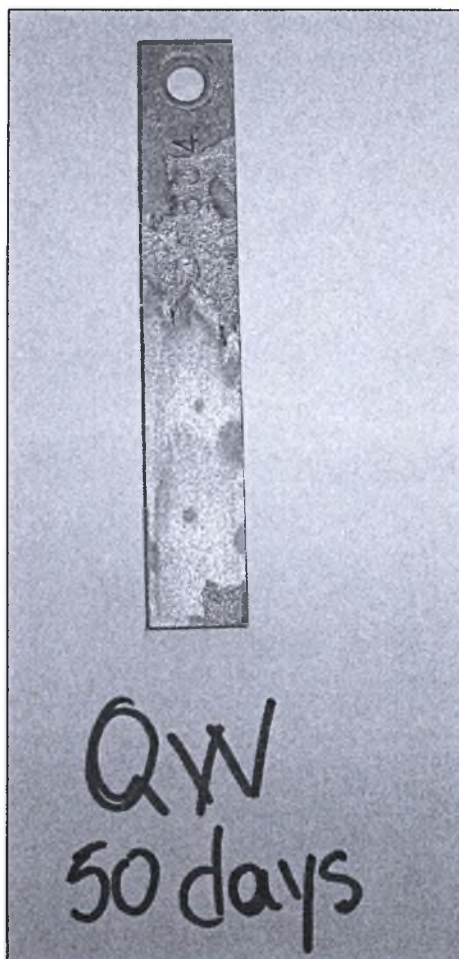
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄**

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**

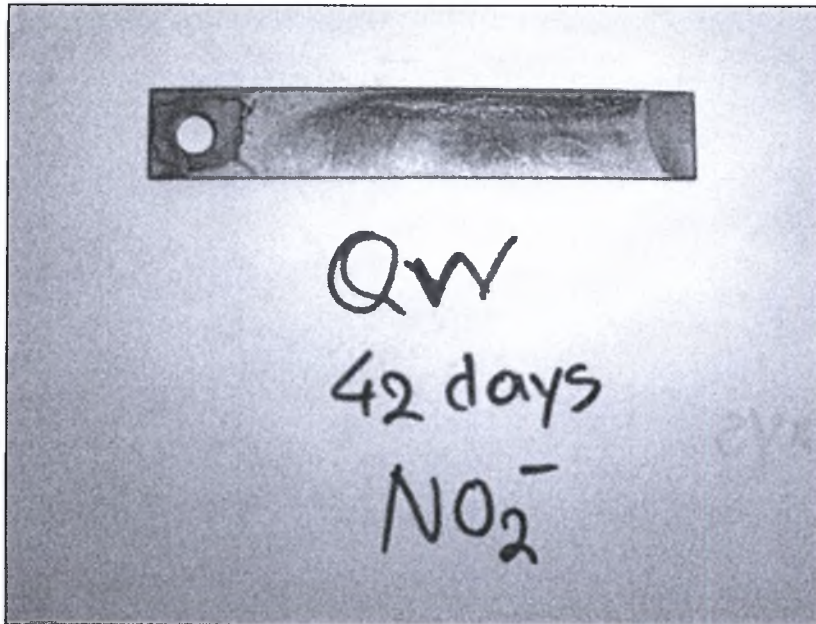
## ΕΝΟΤΗΤΑ 1<sup>η</sup>

ΜΑΡΤΥΡΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

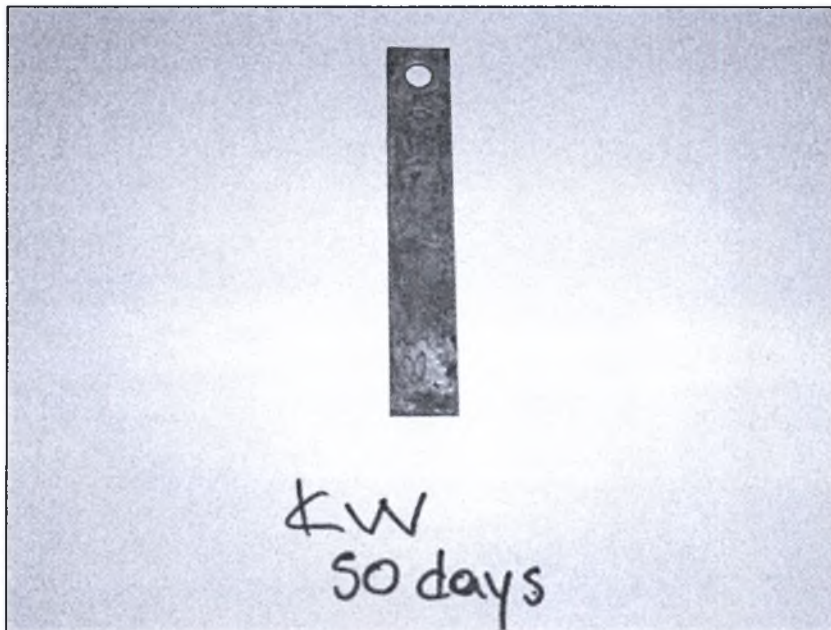
ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ



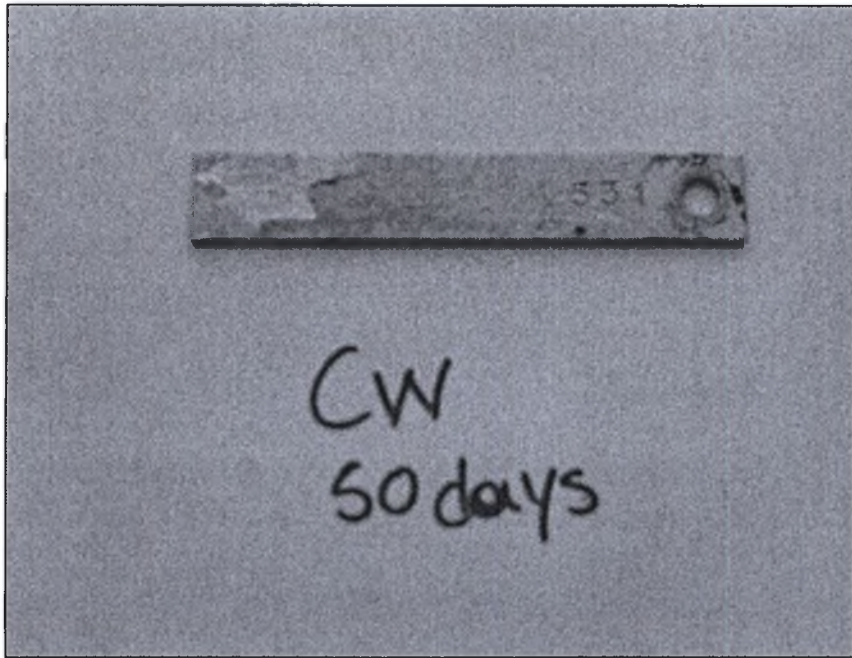
**Φωτογραφία 1.** «Μάρτυρας» Διάβρωσης Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR για το 1<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2006 (χρήση πυριτικών ως αναστολέων διάβρωσης), Ρυθμός Διάβρωσης = 9.3 mpy, Διαστάσεις 76.2×12.7×1.5 mm, Mild Steel



**Φωτογραφία 2.** «Μάρτυρας» Διάβρωσης Κλειστού Κυκλώματος QW/QWR για το 2<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2006 (χρήση νιτρώδων ως αναστολέων διάβρωσης), Ρυθμός Διάβρωσης = 3.5 mpy, Διαστάσεις 76.2×12.7×1.5 mm, Mild Steel



**Φωτογραφία 3.** «Μάρτυρας» Διάβρωσης Ανοικτού Κυκλώματος KW/KWR για το 2006, Ρυθμός Διάβρωσης = 14.9 mpy, Διαστάσεις 76.2×12.7×1.5 mm, Mild Steel

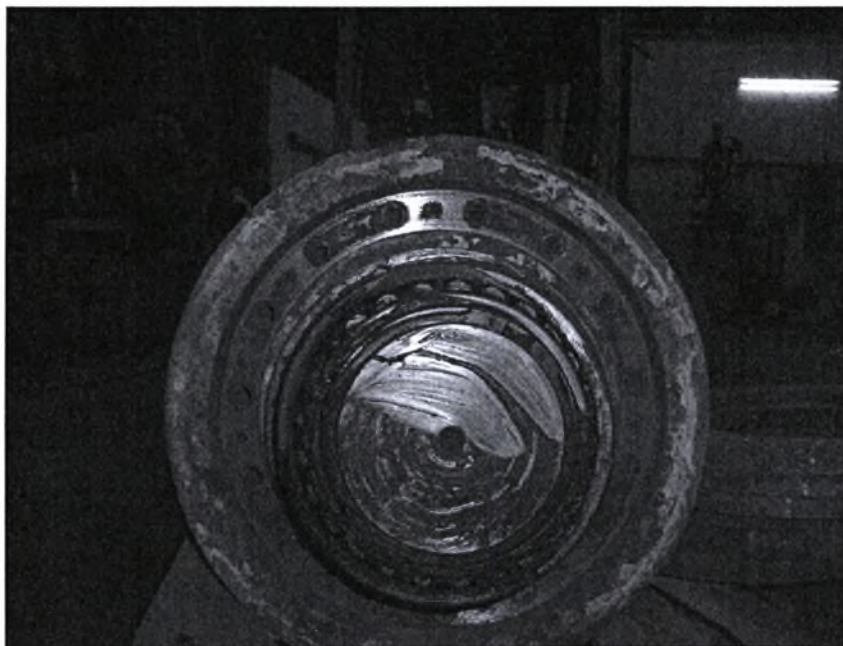


**Φωτογραφία 4.** «Μάρτυρας» Διάβρωσης Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR για το 2006, Ρυθμός Διάβρωσης = 8.6 mpy, Διαστάσεις 76.2×12.7×1.5 mm, Mild Steel

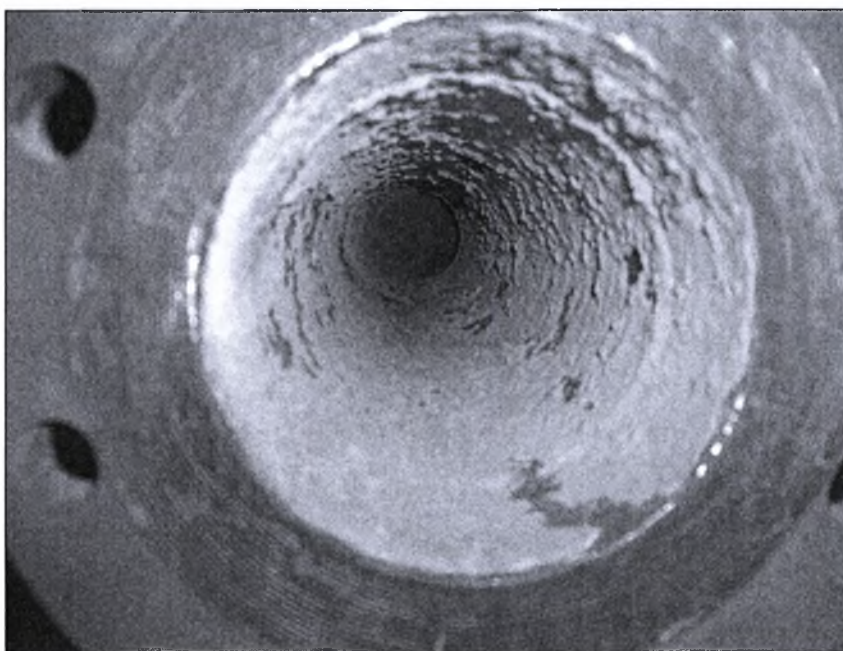
## **ΕΝΟΤΗΤΑ 2<sup>η</sup>**

**ΑΓΩΓΟΙ - ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ**

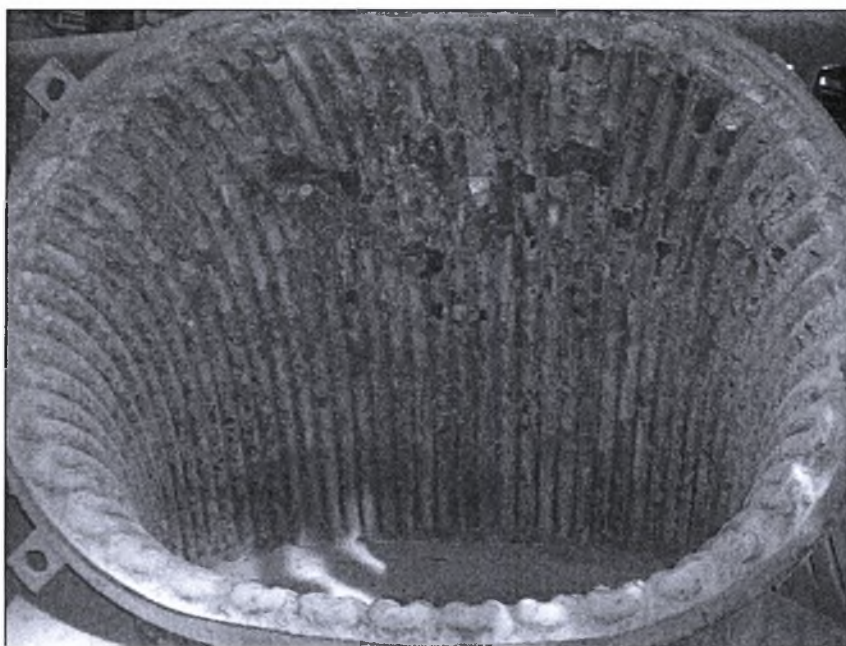
**ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΕΙΟΥ**



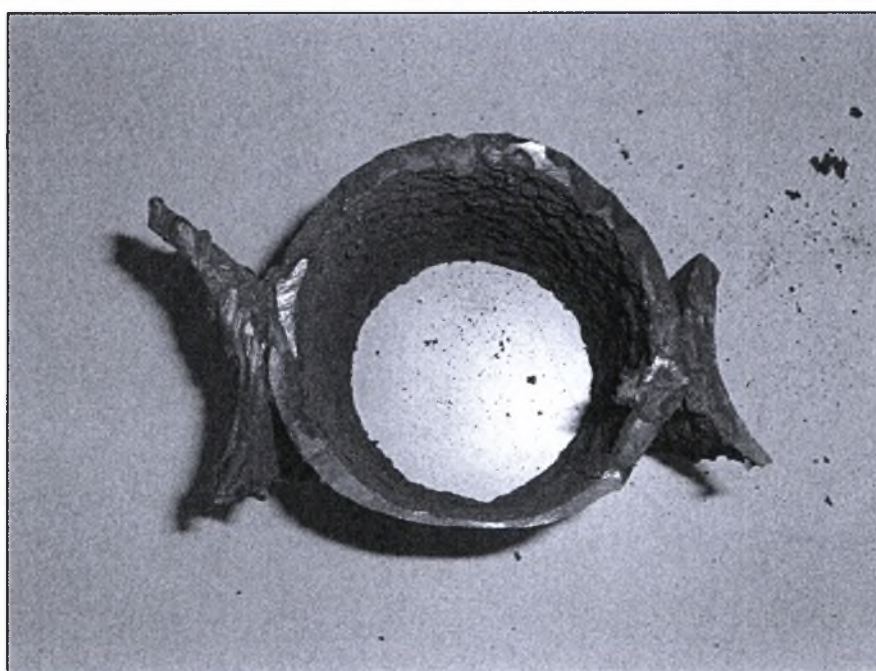
**Φωτογραφία 5.** Ράουλο Μηχανής Συνεχούς Χύτευσης (Φραγμένες οπές περιφεριακά του άξονα). Κλειστό Κύκλωμα QW/QWR.



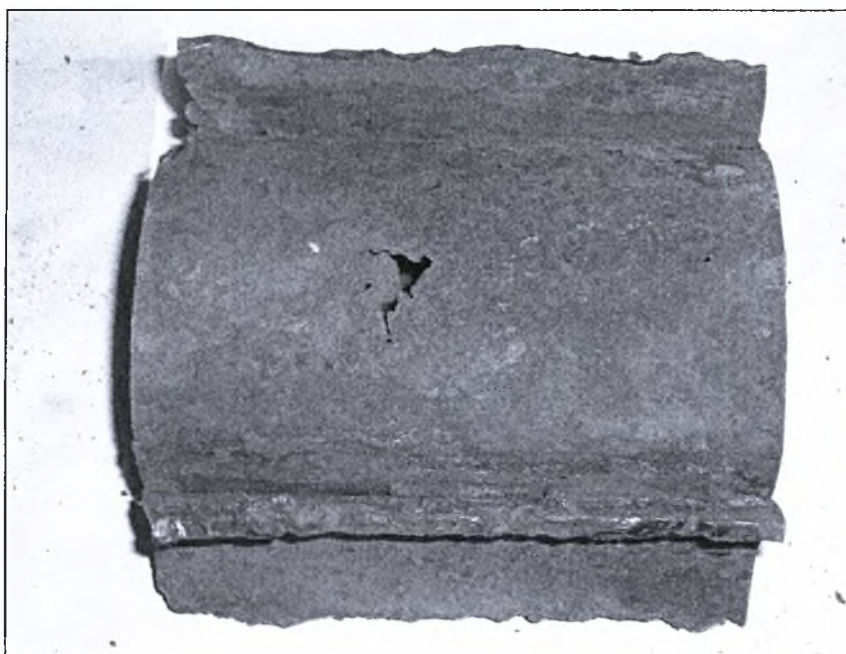
**Φωτογραφία 6.** Διατομή αγωγού τροφοδοσίας ψυγείων κλιβάνου Χαλυβουργείου. Ανοικτό Κύκλωμα CW/CWR.



**Φωτογραφία 7.** Αυλοί ψύξης των καυσαερίων που ελευθερώνονται κατά την τήξη του παλαιοσίδηρου. Στην εξωτερική τους επιφάνεια προς την πλευρά των καυσαερίων παρατηρούνται εναποθέσεις στάχτης και πιθανότατα οξειδίων. Στο εσωτερικό τους κυκλοφορεί νερό ψύξης του Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR.



**Φωτογραφία 8.** Απώλεια υλικού (μετάλλου) στην εξωτερική πλευρά αγωγού ψύξης καυσαερίων. Στο εσωτερικό κυκλοφορεί νερό ψύξης του Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR.



**Φωτογραφία 9.** Απώλεια Υλικού και ρωγμή στην εξωτερική επιφάνεια δείγματος αγωγού ψύξης των καυσαερίων λόγω Διάβρωσης Θερμοκρασίας (Temperature Corrosion). Στο εσωτερικό κυκλοφορεί νερό ψύξης του Ανοικτού Κυκλώματος CW/CWR.



## Βιβλιογραφία

- [1] Ανδρίτσος Ν., “Τεχνολογία Βιομηχανικής Αντιρρύπανσης”, Διδακτικές Σημειώσεις του Μαθήματος, Βόλος 2004
- [2] American Water Works Association , “Water Quality and Treatment”, 4<sup>th</sup> Edition , McGraw Hill Book Company, 1990
- [3] Betz Laboratories, Inc, “Handbook of Industrial Water Conditioning”, 9<sup>th</sup> Edition, Betz Laboratories Inc, Trevose, 1991
- [4] Bott T.R., “Fouling of Heat Exchangers”, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1995
- [5] Fontana G. Mars, “Corrosion Engineering”, 3<sup>rd</sup> Edition , McGraw Hill Book Company, 1986
- [6] Gulf Coast Chemical Company Inc, “GC<sup>3</sup> Handbook”, 1995
- [7] Herro M. Harvey, Port D. Robert, Nalco Chemical Company, “The Nalco Guide To Cooling Water System Failure Analysis”, McGraw Hill Book Company, 1993
- [8] Καστρινάκης Γ. Ε., “Μηχανικές Φυσικές Διεργασίες”, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2004
- [9] Κουιμτζής Θ. Μ., “Αρχές Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1987
- [10] Lane W. Russell, “Control of Scale and Corrosion in Building Water Systems”, McGraw Hill Book Company, 1993

- [11] Μαρκόπουλος Ν. Ι., “Διεργασίες Διαχωρισμού με Μεμβράνες”, Αναθεωρημένη Έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2002
- [12] Μεγαλόπουλος Α., “Χημεία και Τεχνολογία του Νερού”, Αθήνα 1997
- [13] Μήτρακας Μ., “Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού”, Θεσσαλονίκη 1996
- [14] Mathie J. Alton, “Chemical Treatment for Cooling Water”, The Fairmont Press, Inc., 1998
- [15] McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P., “Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής”, μ.τ.φ. Πολυματίδου Σ., 6<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2002
- [16] Nalco Chemical Company, “The Nalco Water Handbook”, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw Hill Book Compny, 1988
- [17] Perry R.H., Green D.W., “Chemical Engineers Handbook”, 7<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill Book Compny, New York 1997

#### ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- [18] “Αρχή Λειτουργίας Πύργου Ψύξης”, Προσπέλαση στις 15/03/07, «<http://www.arvanitides.gr>»
- [19] “Cooling Systems”, Προσπέλαση στις 10/03/07, «<http://www.gc3.com>»
- [20] Ferguson J. Robert, “Computer Modeling of Water Chemistry”, Προσπέλαση στις 04/04/07, «<http://www.awt.org>»

- [21] Ferguson J. Robert, “Water Treatment Rules of Thumb: Myths or Useful Tools”, Προσπέλαση στις 04/04/07, «<http://www.frenchcreeksoftware.com>»
- [22] “Ion Exchange and Demineralization”, Tech Brief, May 1997, Προσπέλαση στις 13/01/07, «<http://www.ndwc.com>»
- [23] Perlman Howard, Μακρόπουλος Χρήστος, Κουτσογιάννης Δημήτριος, “Ο Υδρολογικός Κύκλος του Νερού, Γεωλογική Υπηρεσία ΗΠΑ”, Water Science Basics 2005, Προσπέλαση στις 10/02/07, «<http://www.itia.ntua.gr>»
- [24] Prisyazhniuk A. Vitaly, “Prognosticating scale – forming properties of water”, Applied Thermal Engineering 2005, Προσπέλαση στις 10/01/07, «<http://www.sciencedirect.com>»
- [25] “Scaling Indices”, Προσπέλαση στις 29/12/06, «<http://www.awt.org>»
- [26] «<http://www.duluthstreams.org>», Προσπέλαση στις 15/12/06
- [27] «<http://www.euro2day.gr/articles/116325/>», Προσπέλαση στις 02/02/07
- [28] «<http://www.forthnet.gr/templates/newsPosting.aspx?>», Προσπέλαση στις 05/02/07
- [29] «[http://www.lenntech.com/unit-conversion-calculator/tds\\_engels.html](http://www.lenntech.com/unit-conversion-calculator/tds_engels.html)», Προσπέλαση στις 15/12/06
- [30] «<http://www.newspathfinder.gr/ecology/greenpeace/water.html>», Προσπέλαση στις 06/02/07

[31] «<http://www.pasture.ecn.purdue.edu>», Προσπέλαση στις 10/12/06

[32] «<http://www.waterontheweb.org/index.html>», Προσπέλαση στις 21/12/06

[33] «<http://el.wikipedia.org/wiki/>», Προσπέλαση στις 22/02/07

[34] «<http://www.worldwatercouncil.org>», Προσπέλαση στις 06/02/07



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000085846