



Πανεπιστήμιο Πειραιά
Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης
και Τεχνολογίας
Διαχείριση Ενέργειας & Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίλυση προβλημάτων στην Βιομηχανία **Μεθοδολογία και πειραματικός σχεδιασμός**

Παναγιώτης Αγιαννίτης Π1412

Καθηγήτρια
PhD Κα Χρ. Σιοντόρου



ΠΕΙΡΑΙΑΣ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2016

Table of Contents

Περίληψη	5
Abstract	6
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1 : Θεωρητική Ανασκόπηση	8
1.1 Φυσικές Ιδιότητες Νερού	8
1.2 Φυσικοχημικοί Παράμετροι του Νερού	9
Θερμοκρασία (T)	9
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).....	10
Ενεργός οξύτητα (pH).....	10
Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	10
Διαλυμένο Οξυγόνο	11
Αλκαλικότητα (Alkalinity).....	11
Σκληρότητα (Hardness)	14
Βαθμός Αλκαλίωσης.....	15
1.3 Δείκτης Langelier ή Δείκτης Κορεσμού SI (Saturation Index)	16
1.4 Προβλήματα Ανοιχτών Συστημάτων Ανακυκλοφορίας Νερού	17
1.4.1 Επικαθίσεις (scaling)	17
1.4.2 Διάβρωση (corrosion)	18
1.4.2.1 Τύποι Διάβρωσης	21
1.4.3 Χτίσιμο Επιφανειών Διασκορπίσεως (fouling).....	25
1.4.4 Ανάπτυξη Μικροβιακού Φορτίου (Microbial Growth)	26
Κεφάλαιο 2 : Εγκατάσταση	28
2.1 Μονάδα Διύλισης Εισερχόμενου Νερού	28
2.2 Μονάδα Αντίστροφης Ώσμωσης (RO).....	29
2.3 Ανοικτό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας του Νερού Ψύξης.....	30
2.3.1 Μέρη δικτύου.....	30
2.3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος.....	31
2.3.3. Περιγραφή Τύπου και Λειτουργίας Πύργου Ψύξης.....	35
2.4 Δεξαμενές και Δίκτυο ανακυκλοφορίας,	36
Κεφάλαιο 3 : Απαιτήσεις Νερού Ψύξης	38
3.1 Θεμελιώδεις Αρχές Νερού Ψύξης Χυτηρίου.....	38
3.1.2 Μηχανισμός Ψύξης Αλουμινίου κατά την Χύτευση	38
3.1.2 Ισοζύγιο Θερμότητας	39
3.1.3 Καμπύλες Βρασμού	40

3.2	Χαρακτηριστικά Νερού Ψύξης Χυτηρίου.....	41
3.3	Παράγοντες Μεταβολής Συμπεριφοράς Νερού Ψύξης Χυτηρίου	41
3.4	Παράγοντες Επιβάρυνσης Ανοιχτού Δικτύου Ανακυκλοφορίας Νερού.....	42
Κεφάλαιο 4 : Επεξεργασία Νερού.....		43
4.1	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του Νερού	43
4.2	Χημικές Ενώσεις – Πρόσθετα εξουδετέρωσης	46
	Βιοκτόνος ενεργοποιητής χλωρίου	46
	Βιοκτόνος Οργανικού Βρωμίου.....	48
	Αντιαποθετικό	49
	Γαλακτωματοποιητές.....	50
4.3	Καθορισμός Πρόσθετων Επεξεργασίας Νερού.....	52
	4.3.1 Αξιολόγηση βάσει απαιτήσεων Συστήματος Ψύξης.....	52
	4.3.2 Περιορισμοί λόγω επίδρασης στην ψυκτική ικανότητα του νερού	53
	4.3.3 Περιορισμοί στην διαχείριση των νερών απόρριψης από την στρατσώνα.	53
Κεφάλαιο 5 : Σχεδιασμός Πειραματικής Διαδικασίας.....		54
5.1	Design Of Experiments	54
	5.1.2 Κλασματικό Παραγοντικό Αναπαραγωγής Σχεδιασμού 2^k	56
	5.1.3 Σχεδιασμός του Ημίσεως Κλάσματος 2^{k-1}	56
5.2	Πειραματική προσέγγιση μεταβολής της ψυκτικής ικανότητας	58
	5.2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός.....	58
	5.2.2 Πειραματική εφαρμογή	60
	5.2.3 Καταγραφές.....	63
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα & Εφαρμογή.....		68
6.1	Συμπεράσματα.....	68
6.2	Εφαρμογή.....	69
	6.2.1 Μηχανισμός Εισαγωγής και διαδικασία.....	70
Βιβλιογραφία		71

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στις εγκαταστάσεις Βιομηχανικής Μονάδας Αλουμινίου η οποία δραστηριοποιείται στην ανακύκλωση υλών αλουμινίου μέσα από την διαδικασία τήξης scrap αλουμινίου, εξευγενισμό-επεξεργασία του τήγματος και χύτευση με την διαδικασία της άμεσης ψύξης σε μορφή μπιγιέτας ή πλάκας.

Η εργασία ήρθε να αντιμετωπίσει ένα πάγιο πρόβλημα σε μία από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους της διαδικασίας χύτευσης αλουμινίου που διαμορφώνει σε καθοριστικό βαθμό τα μηχανικά χαρακτηριστικά και την Ποιότητα του προϊόντος.

Η διευρυμένη γκάμα τεχνολογιών και οι δυνατότητες επεξεργασίας των νερών που συχνά υπόσχονται πλήρη ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίησή του δημιουργούν σύγχυση και αποπροσανατολίζουν μία μεθοδευμένη αντιμετώπιση με στόχο την παροχή σταθερής ποιότητας νερού ψύξης με σεβασμό αφενός στο Περιβάλλον και την Ασφάλεια των εργαζομένων αφετέρου στην ενέργεια και στην χρήση χημικών πρόσθετων.

Οι εργαστηριακές διαπιστώσεις και μετρήσεις επιβεβαιώθηκαν και σήμερα εφαρμόζονται αφού αναπτύχθηκε γύρω από αυτές η παραγωγική διαδικασία που τις διασφαλίζει. Η εργασία αποτέλεσε την βάση και την αφετηρία της επεξεργασίας.

Αφιερωμένο

στην **Δήμητρα**, για τις ατελείωτες ώρες υποστήριξης

&

στην **Εβελίνα**, για την επιμονή στην λεπτομέρεια των
εργαστηριακών πειραμάτων.

Περίληψη

Το νερό ψύξης παίζει σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή θερμότητας τόσο από το καλούπι χύτευσης όσο και του μετάλλου που στερεοποιείται κατά τη διάρκεια της Αμέσου Ψύξης Χύτευσης κραμάτων αλουμινίου και χαρακτηρίζεται από πολύπλοκα φαινόμενα βρασμού (στρωματική εξάτμιση, πυρηνικός αναβρασμός) στα στάδια μεταφοράς θερμότητας. Ο ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας κατά τη διάρκεια της ψύξης εξαρτάται και από τη θερμοκρασία της επιφάνειας μετάλλων και μπορεί να αλλάξει σε συνάρτηση με το χρόνο, καθώς η μπιγιέτα κρυσώνει. Προκύπτει λοιπόν ότι η σταθερή ποιότητα του νερού αποτελεί προαπαιτούμενο εάν επιδιώκουμε να χυτεύουμε υψηλής ποιότητας προϊόντα με υψηλή απόδοση της παραγωγικής διαδικασίας.

Συνεπώς, η μη ελεγχόμενη ψύξη μπορεί να προκαλέσει διακυμάνσεις στην θερμοβαθμίδα κατά την στερεοποίηση των κόκκων με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν εσωτερικές τάσεις που συχνά οδηγούν σε τρεξίματα του υλικού ή ρωγμές στο χυτεύόμενο προϊόν.

Ωστόσο, βοηθητικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία της χύτευσης όπως λιπαντικά -ακόμα και εάν συμμετέχουν σε μικρές ποσότητες- αποστραγγίζουν στις ίδιες δεξαμενές του ανοιχτού συστήματος του νερού ψύξης με αποτέλεσμα να αναμιγνύονται με αυτό. Επιπλέον, η αποθετική και διαβρωτική συμπεριφορά αποτελούν τα σημαντικά προβλήματα του νερού και είναι στενά συνδεδεμένα με την μη σταθερή ποιότητά του που προκαλείται από την τάση του CaCO_3 να διαλυθεί ή να καθιζάνει. Τέλος οι αυξημένες θερμοκρασίες του νερού διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών και την ανάπτυξη του βιοφίλμ που χτίζει μέσα στο κύκλωμα. Ως εκ τούτου, ανάπτυξη βιοφίλμ μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος και μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μια σειρά από άλλα προβλήματα μέσα σε ένα ανοιχτό κύκλωμα (κλειστού βρόγχου), όπως απόφραξη των βαλβίδων και σωληνώσεων, κάτω από τη διάβρωση των αποθέσεων τα οποία προστατεύουν τα βακτήρια που υπάρχουν στο βιοφίλμ από οποιαδήποτε βιοκτόνα στο σύστημα.

Αυτές οι παράμετροι που μπορεί πάντα να μετρούνται άρα να είναι γνωστές και ελεγχόμενες επηρεάζουν την ψυκτική ικανότητα του νερού. Η κλιμάκωση της συγκέντρωσης μολυσματικών ουσιών οδηγεί σε μια συνεχή αλλαγή της ποιότητας του νερού η οποία αφενός δεν μπορεί να συντηρήσει την απαιτητική διαδικασία παραγωγής αφετέρου να διασφαλίσει συνθήκες υγιεινής για τις ανάγκες του προσωπικού σε νερό για καθαριότητα.

Ο ορισμός των κρίσιμων παραμέτρων στην προδιαγραφή του νερού και ο αποτελεσματικός έλεγχός τους καθιστά την διαδικασία ελέγχου προαπαιτούμενο της διαδικασίας. Έχουμε ακόμη να σκεφτούμε και αποφασίσουμε αν θέλουμε να έχουμε μη αναμίξιμα λιπαντικά που τελικά θα απορροφηθούν με κατάλληλα μέσα από την επιφάνεια του φρεατίου ή με ειδικά πρόσθετα να τα κάνουμε διαλυτά στο νερό ελέγχοντας τις παραμέτρους της προδιαγραφής ακολουθώντας τις σχετικές διαδικασίες πάντα σε σχέση με τις περιβαλλοντικές διαδικασίες και τα πρότυπα ποιότητας.

Οι δοκιμές για την παρατήρηση και την διαπίστωση των αλληλεπιδράσεων κατά τη χρήση των χημικών ουσιών πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικές συνθήκες. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται αφορούν την αντιμετώπιση της αποθετικής και διαβρωτικής συμπεριφοράς,

σταθεροποιητές σκληρότητας και βιοκτόνο που επηρεάζουν την ψυκτική ικανότητα του νερού σχηματίζοντας το τρίγωνο νερού ψύξης.

Abstract

Water-cooling plays a major role in extracting heat from both the mold and solidifying metal during the Direct Chill Casting of Aluminum Alloys and is characterized by complex boiling phenomena. Heat extraction rates during water-cooling which have strong dependence on the metal surface temperature, can rapidly change with time as the ingot cools down.

Consistent water quality is therefore a requirement in Aluminum casting if we mean to follow the procedure and deliver quality products with high performance.

Consequently, uncontrolled cooling may cause fluctuations in the temperature gradients inside the solidifying shell and generate tensile thermal stresses at the solidification front that can ultimately lead to the appearance of hot tears or cracks in the final product.

However, other materials used in DC Casting like lubricants -even been in small quantities- they are draining in the same tanks of the closed system with the water thus mixing with it. Moreover the most prominent water problems are deposits and corrosion and these are closely related to the instability of each specific water caused by the tendency of CaCO_3 to dissolve or precipitate from it. Finally increased water temperatures play a key role in the growth of microorganisms and the development of biofilm. Biofilm development therefore impairs the efficiency of the system and can also lead to a number of other problems within a closed circuit such as; blockages of valves and pipework, under deposit corrosion and protection of bacteria present in the biofilm from any biocides in the system

These parameters that can always be measured are influencing water's quenchability. The escalation of the contaminants concentration leads to a continuous changing quality of the water which cannot sustain neither the demanding production process nor the hygiene issues when water is essential for cleaning.

The definition of the critical water specifications and the effective control of them becomes to be a prerequisite of the process. We still have to decide whether we want to have immiscible lubricants that will eventually be extracted from the surface of the sump or soluble ones that will be controlled according specific factors following definite procedures always in respect to the environmental procedures and the quality standards.

The tests to observe and ascertain the interactions in use of chemicals conducted live in Industrial environment. The chemicals concern scale and corrosion inhibitors, hardness stabilizer and biocide activator which affect the quenchability of the cooling water and forming altogether the cooling water triangle.

Εισαγωγή

Η ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων στις βιομηχανικές μονάδες αποτελεί αρχή αλλά και στόχο της αειφόρου ανάπτυξής τους. Συχνά η διαχείριση αυτή εμπλέκει την κυκλική κίνηση των φυσικών πόρων ακολουθώντας τεχνητούς κύκλους που οδηγούν στην ανακύκλωση με επεξεργασία και επαναχρησιμοποίησή τους. Ο τρόπος εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων συνδέεται άμεσα και με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Η ηπιότητα της τεχνολογικής μεθόδου είναι μια ιδιότητα που χαρακτηρίζει μόνον εκείνες τις τεχνολογίες που εξασφαλίζουν:

- ανανέωση του φυσικού πόρου
- διατήρηση του περιβάλλοντος
- προώθηση λιγότερο ενεργοβόρου ανάπτυξης
- αποφυγή κοινωνικών κινδύνων (π.χ. σοβαρά ατυχήματα).

Η διαδικασία της διαχείρισης του νερού γίνεται πολλές φορές πολύπλοκη καθώς η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων απαιτεί σταθερή και υψηλή καθαρότητα του μέσου ψύξης. Το σύστημα αξιολόγησης της καταλληλότητας του νερού είναι πολυκριτηριακό καθώς υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους.

Η εργασία λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις έπρεπε να διαπιστώσει πρώτα εργαστηριακά την αποδοτικότητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων (scale-down), να λάβει υπόψιν όλες τις παραμέτρους και να προσδιορίσει πόσο κρίσιμες είναι (design of experiments) και τέλος να ανεβάσει την διαδικασία στο επίπεδο της βιομηχανικής δραστηριότητας αντικαθιστώντας ότι μέχρι εκείνη την στιγμή εφαρμοζόταν (scale-up). Αποτέλεσμα τελικά να οδηγηθούμε σε αξιόπιστη και δοκιμασμένη επεξεργασία που θα διασφαλίζει τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

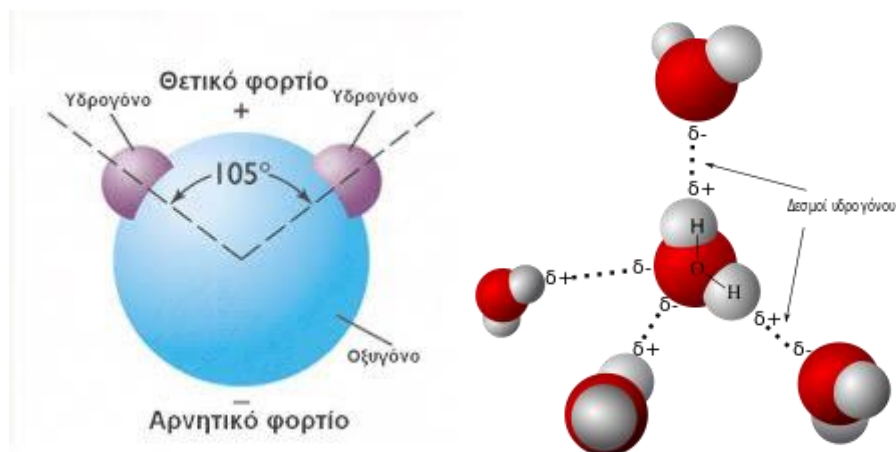
Στην αξιολόγηση των μεθόδων και της εφαρμογής των προσφερόμενων τεχνολογιών αξιολογήθηκε και η δυνατότητα προσαρμογής τους σε Βιομηχανική κλίμακα. Επίσης αξιολογήθηκε η δυνατότητα ή η ευκολία διαχείρισης των υλικών μετά την επεξεργασία του χρησιμοποιούμενου νερού καθώς δεν προβλέπεται διαδικασία απόρριψης στο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 1 : Θεωρητική Ανασκόπηση

1.1 Φυσικές Ιδιότητες Νερού

Το νερό είναι μια ουσία άχρωμη, άοσμη, άγευστη και υγρή σε κανονικές συνθήκες. Αποτελεί το 70% του ανθρώπινου σώματος και είναι το απαραίτητο συστατικό για τη λειτουργία των κυττάρων, συμμετέχοντας σε όλες τις βιοχημικές διεργασίες. Τα φυτά από το νερό αποσπούν το υδρογόνο για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Κάθε μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Το νερό στην πραγματικότητα είναι μίγμα μορίων νερού με διαφορετικό μοριακό βάρος. Τα τρία φυσικά υπάρχοντα ισότοπα του υδρογόνου (^1H , ^2H , ^3H) και τα τρία σταθερά ισότοπα του οξυγόνου (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) δημιουργούν 18 πιθανούς συνδυασμούς ισotόπων νερού. Ο χημικός δεσμός που συγκρατεί το μόριο είναι ομοιοπολικός, δηλ. κάθε άτομο υδρογόνου μοιράζεται το ελεύθερο ηλεκτρόνιό του με τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας σθένους του οξυγόνου. Η γωνία μεταξύ δύο δεσμών είναι $104,5^\circ$ και η απόσταση του δεσμού O-H ανέρχεται σε $0,96 \text{ \AA}$



Σχ. 1: Το μόριο του νερού και σύνδεση μορίων του με δεσμούς υδρογόνου.

Παρ' όλο που το μόριο του νερού είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, συμπεριφέρεται σαν δίπολο λόγω ασύμμετρης κατανομής των φορτίων.

Η **πολικότητα** που εμφανίζει το μόριο του νερού είναι πολύ σημαντική ιδιότητα και υπεύθυνη για πολλές ιδιότητες του νερού, καθώς και τον τρόπο που αντιδρά με το περιβάλλον. Το μόριο του νερού είναι κατάλληλο να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου και εμφανίζει υψηλή διηλεκτρική σταθερά, που είναι ίση περίπου με 81. Η διπολική ροπή έχει διεύθυνση κάθετη στην ευθεία που ενώνει τα δύο υδρογόνα με σημείο εφαρμογής το οξυγόνο.

Μια άλλη χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού είναι η μεγάλη **διαλυτική του ικανότητα**, που οφείλεται στη μεγάλη διηλεκτρική σταθερά του, καθώς και στην πολικότητα των μορίων του. Έτσι το νερό είναι ένας καλός διαλύτης των ηλεκτρολυτών και των οργανικών ενώσεων με δεσμό υδρογόνου και κακός διαλύτης των μη πολικών ενώσεων. Διαλύει μια μεγάλη ποικιλία συστατικών από απλά άλατα μέχρι ορυκτά και πετρώματα.

Η διαλυτική ικανότητα του νερού προκαλεί ανεπιθύμητες παρενέργειες κατά την βιομηχανική του χρήση. Ανάμεσα στις ουσίες που διαλύει είναι και τα αέρια του Οξυγόνου και του Διοξειδίου του Άνθρακα. Έτσι το νερό αναπτύσσει διαβρωτική συμπεριφορά μέσα στο λειτουργούν κύκλωμα. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών τόσο πιο κοντά ερχόμαστε στην υπέρβαση του ορίου διαλυτότητας μεταλλικών στοιχείων με αποτέλεσμα την καθίζησή τους. Επίσης η ζωογόνο δύναμη του νερού ευνοεί την ανάπτυξη βακτηριδίων και την μόλυνση του συστήματος.

Το νερό είναι η μοναδική από τις συνηθισμένες ενώσεις που στη στερεή μορφή του (πάγος) είναι ελαφρύτερη από την υγρή (πυκνότητα πάγου σε 0 °C ίση με 0,91659 kg/L και πυκνότητα υγρού σε 0 °C ίση με 0,99980 kg/L), με αποτέλεσμα την επίπλευση των πάγων και τη διατήρηση της υδρόβιας πανίδας. Η πυκνότητα του νερού επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση και την παρουσία διαφόρων ουσιών (άλατα, οργανικά υπολείμματα κ.α.). Η θερμότητα εξαέρωσης είναι 9.720 cal/ mol και αντιστοιχεί στην ενέργεια για να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου. Η θερμοκρασία πήξης (0 °C) ελαττώνεται και η θερμοκρασία βρασμού (100 °C σε 1 atm) αυξάνεται αν το νερό περιέχει διαλυμένα συστατικά. Επιπλέον, το μόριο του νερού εμφανίζει μεγάλη επιφανειακή τάση. Το νερό έχει μεγάλη ικανότητα να απορροφά και να αποθηκεύει θερμότητα, επηρεάζοντας το περιβάλλον. Η μεταβολή της θερμοκρασία 1 kg νερού κατά 1 °C χρειάζεται ενέργεια υπό μορφή θερμότητας ίση με 4200 J. Η μεγάλη αυτή ειδική θερμότητα (4200 J/kg °C ή 1 cal/g °C) οφείλεται στους δεσμούς υδρογόνου. Στη μεγάλη **θερμοχωρητικότητα** του νερού οφείλεται η θερμοστατική του αποτελεσματικότητα, τόσο σε επίπεδο κάθε οργανισμού, όσο και σε πλανητική κλίμακα.

1.2 Φυσικοχημικοί Παράμετροι του Νερού

Οι κυριότερες παράμετροι του νερού είναι:

- **Φυσικές** (θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια)
- **Χημικές** (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής)

Θερμοκρασία (T)

Η θερμοκρασία του νερού ακολουθεί την θερμοκρασία του Περιβάλλοντος εκτός και εάν ρέει ή λιμνάζει σε εξωτερικό χώρο οπότε δέχεται και την ακτινοβολία του Ήλιου.

Σε κλειστά συστήματα ανακυκλοφορίας το νερό απάγει την θερμότητα του υλικού που ψύχει αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία του. Είναι λοιπόν απαραίτητη η λειτουργία μιας ψυκτικής διάταξης που θα επαναφέρει την θερμοκρασία του νερού σε αποδεκτές τιμές. Η πτώση της θερμοκρασίας του νερού εξαρτάται από την απόδοση της ψυκτικής μονάδας.

Μετά την διαδικασία αυτή το νερό που χρησιμοποιήθηκε επιστρέφει στην δεξαμενή όπου σημαντικός όγκος νερού υπάρχει για να υπερκαλύπτει τις ανάγκες και ο οποίος έχει αποκτήσει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και είναι ψυχρότερο. Κατά την ανάμειξη του νερού προερχόμενο από την ψυκτική διάταξη (θερμότερο με θερμοκρασία T_{θ} και όγκο V_{θ}) με το νερό που βρίσκεται σε αναμονή μέσα στην δεξαμενή (ψυχρότερο με θερμοκρασία T_{ψ} και όγκο V_{ψ}) θα προκύψει ένα μίγμα για το οποίο θα ισχύει οι παρακάτω εξισώσεις

$$V_{\text{mix}} \cdot T_{\text{mix}} = V_{\theta} \cdot T_{\theta} + V_{\psi} \cdot T_{\psi} \text{ και } V_{\text{mix}} = V_{\theta} + V_{\psi} = 100\%$$

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Αποτελεί το μέτρο της δυνατότητας του νερού να άγει Ηλεκτρικό Ρεύμα.

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 °C). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ στο θαλασσινό νερό φτάνει μέχρι τα 30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να αλλοιώσουν την ποιότητα του νερού.

Κατά την ανάμειξη δύο νερών με διαφορετικές τιμές EC ισχύει:

$$EC_{\text{mix}} = EC_1 \cdot x + EC_2 \cdot (1-x),$$

όπου: EC_{mix} είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μίγματος που προκύπτει, EC_1 , EC_2 οι αγωγιμότητες των νερών που αναμείχθηκαν και “x” το ποσοστό ανάμειξης του ενός νερού στο μίγμα.

Ενεργός οξύτητα (pH)

Πρόκειται για την σχετική ένδειξη όξινου ή αλκαλικού διαλύματος.

Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλ. με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ . Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά.

Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pHs κορεσμού τότε το νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το CaCO_3 . Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το CaCO_3 .

Τα φυσικά νερά παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, ανθίστανται δηλαδή, μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, σε απότομες μεταβολές του pH. Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($\text{pH} > 7$) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη ($\text{pH} < 7$).

Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται.

Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)

Ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids, TDS) είναι η συνολική ποσότητα των φορτισμένων ιόντων, συμπεριλαμβανομένων των μεταλλικών στοιχείων, αλάτων και μετάλλων που είναι διαλυμένα σε συγκεκριμένο όγκο νερού. Τα TDS, που είναι βασισμένα στην αγωγιμότητα, μετρούνται σε μέρη ανά εκατομμύριο (parts per million, ppm). Τα TDS περιλαμβάνουν όλα τα αδιάλυτα ανόργανα στοιχεία που υπάρχουν εκτός από τα μόρια του νερού και τα αιωρούμενα στερεά.

Τα TDS επηρεάζουν οτιδήποτε καταναλώνει, χρησιμοποιεί ή ζει στο νερό, όπως υδραυλικές εγκαταστάσεις, σωληνώσεις, εργαστήρια, ψάρια και φυτά.

Με απόσταξη παρασκευάζεται το **αποσταγμένο νερό**, το οποίο δεν περιέχει καθόλου διαλυμένα άλατα. Με κατάλληλη επεξεργασία παρασκευάζεται το **απιονισμένο νερό**, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί ιόντα που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη χρήση του (συνήθως είναι απαλλαγμένο από ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου).

Διαλυμένο Οξυγόνο

Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται, ενώ αντίθετα μεγάλες συγκεντρώσεις συναντώνται σε νερά, τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες και ανανεώνονται συνεχώς. Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες. Επίσης καθοριστική είναι και η θερμοκρασία του νερού καθώς όσο αυτή αυξάνεται τόσο μειώνεται η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου. Τέλος, σε σταθερή θερμοκρασία, η πίεση που ασκεί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό. Συνεπώς, αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης αυξάνει τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντίστροφα.

Αλκαλικότητα (Alkalinity)

Αλκαλικότητα είναι η παρουσία αλκαλικών μετάλλων στο νερό και η ικανότητά του να εξουδετερώνει οξέα. Αντίστοιχα οξύτητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει βάσεις. Στη περίπτωση νερού που περιέχει μόνο διαλυμένο CO₂ όπως το νερό ψύξης οι συγκεντρώσεις των ενώσεων που επηρεάζουν την ολική αλκαλικότητα του νερού είναι

Υδροξύλιο [OH⁻]
Ανθρακική ρίζα [CO₃⁻²]
Όξινη ανθρακική ρίζα [HCO₃⁻]
Πρωτόνια [H⁺]

Έτσι η ολική αλκαλικότητα του νερού σε ισοδύναμα/l δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$[\text{Alk}] = [\text{OH}^-] + 2 [\text{CO}_3^-] + [\text{HCO}_3^-] - [\text{H}^+]$$

όπου [OH⁻], [CO₃⁻], [HCO₃⁻], [H⁺] σε mole/l

H ⁺ , ppm as CaCO ₃	pH
2-3	4.3
4-5	4.0
6-7	3.9
8-9	3.8
10-11	3.7
12-13	3.6
14-16	3.5
17-20	3.4
21-25	3.3
26-30	3.2
31-40	3.1
41-50	3.0

Η Ολική Αλκαλικότητα – καλείται επίσης Μ-Αλκαλικότητα- είναι αυτή που παράγει pH μεγαλύτερο από το όριο της Ηλιανθίνης ή Πορτοκαλί του Μεθανίου (M) που κυμαίνεται μεταξύ 4.2-4.4 και το οποίο αντιδρά με μεταλλικά οξέα προς παραγωγή ουδέτερου Άλατος στο όριο του M.

Έτσι η Αλκαλικότητα παύει να υπάρχει σε pH 4.2- 4.4 και επιπλέον μείωσή του προκαλεί αύξηση της ελεύθερης μεταλλικής οξύτητας. Η συγκέντρωση της οξύτητας μετράται με το pH

και επηρεάζεται μερικώς από το ύψος συγκέντρωσης των Ολικών Διαλυμένων Στερεών σύμφωνα με τον πίνακα

Ένα επίσης σημαντικό μέτρο της Αλκαλικότητας αποτελεί η P-Αλκαλικότητα, η οποία υπάρχει για pH υψηλότερα από τον δείκτη Φαινολοφθαλεΐνης δηλαδή pH 8.2- 8.4

Γενικότερα, η αλκαλικότητα των περισσότερων φυσικών πηγών νερού προκαλείται από διαλυμένα διττανθρακικά άλατα. Οι παρακάτω σχέσεις δείχνουν τον μηχανισμό μέσω του οποίου η βροχή, δεσμεύοντας το CO₂ από την ατμόσφαιρα και από τα παράγωγα της αναπνοής οργανισμών του εδάφους, διαλύει Μαγνήσιο και Ασβέστιο από ένα κοινό μέταλλο τον Δολομίτη αυξάνοντας έτσι την σκληρότητα και αλκαλικότητα στο νερό του εδάφους.



Εξακολουθεί έτσι να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της περίσσειας CO₂ και διττανθρακικών ιόντων η οποία μετράται με βάση την τιμή του pH.

Θεωρητικά τιμή του pH 7.0 αντιπροσωπεύει ένα ουδέτερο σύστημα με τις υψηλότερες από αυτό τιμές να προσδιορίζουν ένα αλκαλικό διάλυμα και τις χαμηλότερες αντίστοιχα να προσδιορίζουν ένα όξινο διάλυμα. Όταν η τιμή του pH υπερβαίνει τις τιμές 8.2-8.4 το ελεύθερο CO₂ εξαφανίζεται και τα διττανθρακικά ξεκινούν να μετατρέπονται σε ανθρακικά ιόντα. Η μετατροπή αυτή εξελίσσεται μέχρι τιμές pH 9.8-10.0 όπου όλη η ποσότητα του CO₂ βρίσκεται στην μορφή των ανθρακικών.

Πάνω από το εύρος pH 8.2- 8.4 της P – Αλκαλικότητας υπάρχει συσχέτιση μεταξύ HCO₃⁻, CO₃⁻ και OH⁻ βασισμένες στην P & M Αλκαλικότητα. Οι σχέσεις που τις περιγράφουν είναι

τιμές pH μικρότερες από 9.8- 10.0	τιμές pH μεγαλύτερες από 9.8- 10.0
P-Αλκαλικότητα < ½ (M-Αλκαλικότητα) CO ₃ ⁻ = 2 x P HCO ₃ ⁻ = M-CO ₃ = M-2P OH ⁻ = μηδέν	P-Αλκαλικότητα > ½ (M-Αλκαλικότητα) CO ₃ ⁻ = 2 (M – P) HCO ₃ ⁻ = μηδέν OH ⁻ = 2P – M

Οι παραπάνω σχέσεις αν και χρήσιμες υπάρχουν περιπτώσεις που δεν αποδίδουν την πραγματικότητα ειδικά στην περίπτωση μολυσμένων υδάτων. Η εργαστηριακή προσέγγιση με την κατακρήμνιση ανθρακικών αλάτων με κατάλληλη προσθήκη BaCl₂ και πρόσθετη τιτλοδότηση προς το όριο της P - Αλκαλικότητας δίνει την καυστικότητα του διαλύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτήν που υπολογίζεται με τους παραπάνω τύπους.

Επιπλέον, στα νερά των αποβλήτων ή λυμάτων είναι πιθανόν να περιέχονται ιόντα (πλέον των HCO₃⁻ και CO₃⁻) τα οποία μπορεί να είναι όξινα θειώδη, θειούχα ή φωσφορικά άλατα. Στις περιπτώσεις αυτές η εργαστηριακή προσέγγιση με την μέθοδο των τιτλοδοτήσεων δεν επαρκεί και είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψιν και την έκλυση CO₂.

OH, ppm as CaCO ₃	pH
2 – 3	9.7
4 – 5	10.0
6 – 7	10.1
8 – 9	10.2
10 - 11	10.3
12 – 13	10.4
14 – 16	10.5

Σχ. 2: Ελεύθερα Ιόντα OH → pH

P - Αλκαλικότητας % M – Αλκαλικότητας	pH
0	8.2 – 8.4
5	8.7 – 8.9
10	9.0 – 9.2
15	9.3 – 9.4
20	9.5 – 9.6
25	9.6 – 9.7
31 – 40	10.9
41 - 50	11.0

Σχ.3: P-Alk στην M-Alk → pH

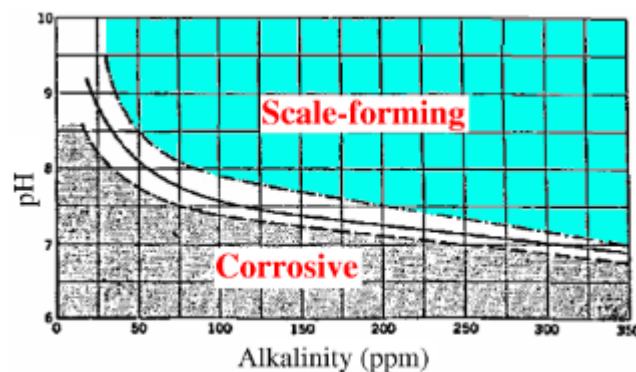
Όταν ελεύθερα ιόντα υδροξυλίου εμφανίζονται σε συγκεντρώσεις pH μεγαλύτερες από 9.8-10.0 τότε η συγκέντρωση μπορεί να δοθεί από το Σχ. 2 με κάποια απόκλιση που θα επιφέρει το ποσοστό των ολικών διαλυμένων στερεών.

Αντίθετα για pH μικρότερο από 10.0 η τιμή του προσεγγίζεται με την βοήθεια του Σχ.3 ως συνάρτηση της σχέσης της P-Αλκαλικότητας στην Ολική.

Οι παραπάνω σχέσεις της αλκαλικότητας είναι πολύ σημαντικές στην Χημεία του νερού αφού μπορούν να μας βοηθήσουν να μελετήσουμε την συμπεριφορά του στα κύρια προβλήματα τόσο στον σχηματισμό επικαθίσεων όσο και στην διάβρωση.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για την τάση του CaCO₃ να διαλυθεί μέσα στο νερό ή να κατακρημνιστεί από αυτό και να καθιζάνει .

Τα πρώτα χρόνια της χημείας του νερού το “marble test” αποτελούσε την δοκιμή επιβεβαίωσης της σταθερότητας των χαρακτηριστικών του νερού. Στην δοκιμή λεπτοί κόκκοι μαρμάρου αναδευόντουσαν σε ένα πρότυπο φιαλίδιο νερού και στην συνέχεια φιλτράρονταν. Εάν το νερό εμφάνιζε συμπεριφορά καθίζησης τότε τόσο η σκληρότητα όσο και αλκαλικότητα θα έπεφταν ενώ αντίθετα η διαβρωτική συμπεριφορά του νερού θα αύξανε τους δείκτες.



Σχ. 4 : Καμπύλη του Baylis

Το διάγραμμα στο Σχ.4 δείχνει την καμπύλη του Baylis όπου γραφικά απεικονίζεται η αλληλεπίδραση pH και Αλκαλικότητας στην συμπεριφορά του νερού. Ζεύγη τιμών πάνω

από την καμπύλη χαρακτηρίζουν νερά με αποθετική συμπεριφορά ενώ κάτω από την καμπύλη με διαβρωτική συμπεριφορά.

Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών γιατί δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθίσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων κ.α. (Μήτρακας, 2001). Η σκληρότητα του πόσιμου νερού μεταξύ των άλλων συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) **Παροδική ή ανθρακική** σκληρότητα που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και Mg^{2+} δηλ. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

β) **Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική** που προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειϊκό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειϊκών ιόντων είναι η οξειδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

γ) **Ολική σκληρότητα** (Total Hardness): Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mg/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L CaCO_3 και ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,86 mg/L $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Η ολική σκληρότητα (TH) δίνεται από τη σχέση: $\text{TH}=2,5\text{Ca}+4,1\text{Mg}$ αν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/L και $\text{TH}=50 (\text{Ca}+\text{Mg})$ αν είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Η περιοχή μεταξύ 15-20 γαλλικών βαθμών χαρακτηρίζουν πολύ καλό νερό από άποψη σκληρότητας. Η μηδενική σκληρότητα, η παντελής δηλ. έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου δεν είναι επιθυμητή. Η μεγάλη σκληρότητα προκαλεί ελαφρά διάρροια σε όσους πίνουν για πρώτη φορά, ενώ η συνεχής εξωτερική του χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα. Επίσης καταστρέφει τα υφάσματα και φθείρει τις συσκευές. Τα νερά με βάση τη σκληρότητα ταξινομούνται όπως φαίνεται στο Σχ. 5.

Η ολική αλκαλικότητα ισούται με $\text{Alk}=0,81967 \text{HCO}_3^-$ (mg/L).

Στην περίπτωση που η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα τότε η μη ανθρακική σκληρότητα (μόνιμη) είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την ανθρακική σκληρότητα (παροδική). Αν η αλκαλικότητα είναι μικρότερη από την ολική σκληρότητα τότε η παροδική σκληρότητα είναι ίση με την αλκαλικότητα και η μόνιμη είναι η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα.

Ισοδύναμο $CaCO_3$ (mg/L)	Γαλλικοί βαθμοί	Χαρακτηρισμός του νερού
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

Σχ.5: Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

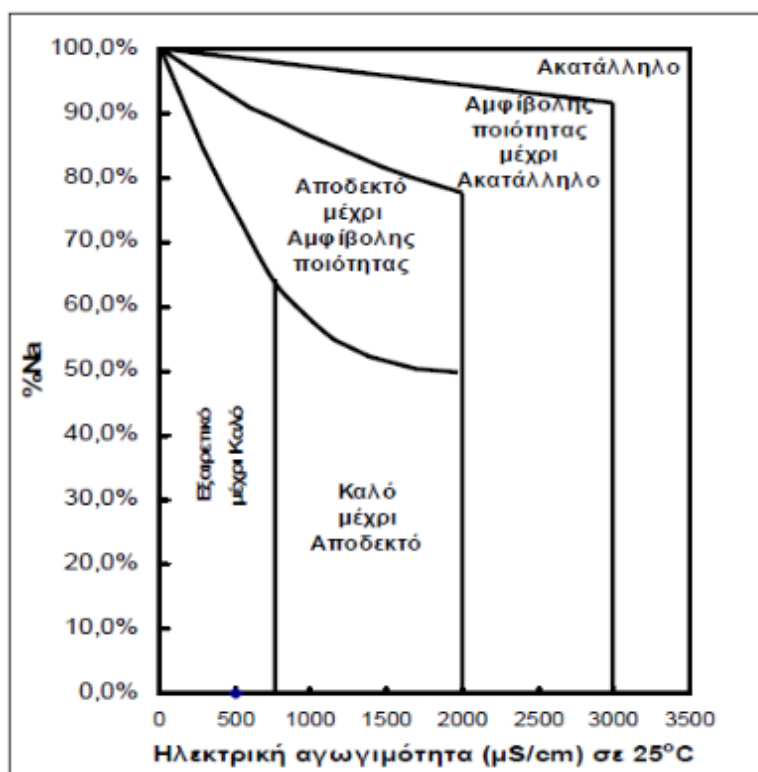
Βαθμός Αλκαλίωσης

Η **περιεκτικότητα σε νάτριο** (βαθμός αλκαλίωσης) εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Na%) από τη σχέση:

$$Na(\%) = (Na+K) \cdot 100 / (Ca+Mg+Na+K)$$

όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Η διαβρωτική ικανότητα του νερού ή η ικανότητα απόθεσης αλάτων, κυρίως $CaCO_3$ παίζει σημαντικό ρόλο στις χρήσεις του και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, την ταχύτητα ροής του νερού και το pH. Τα βακτήρια επίσης δρουν καταλυτικά επιταχύνοντας τις χημικές αντιδράσεις.



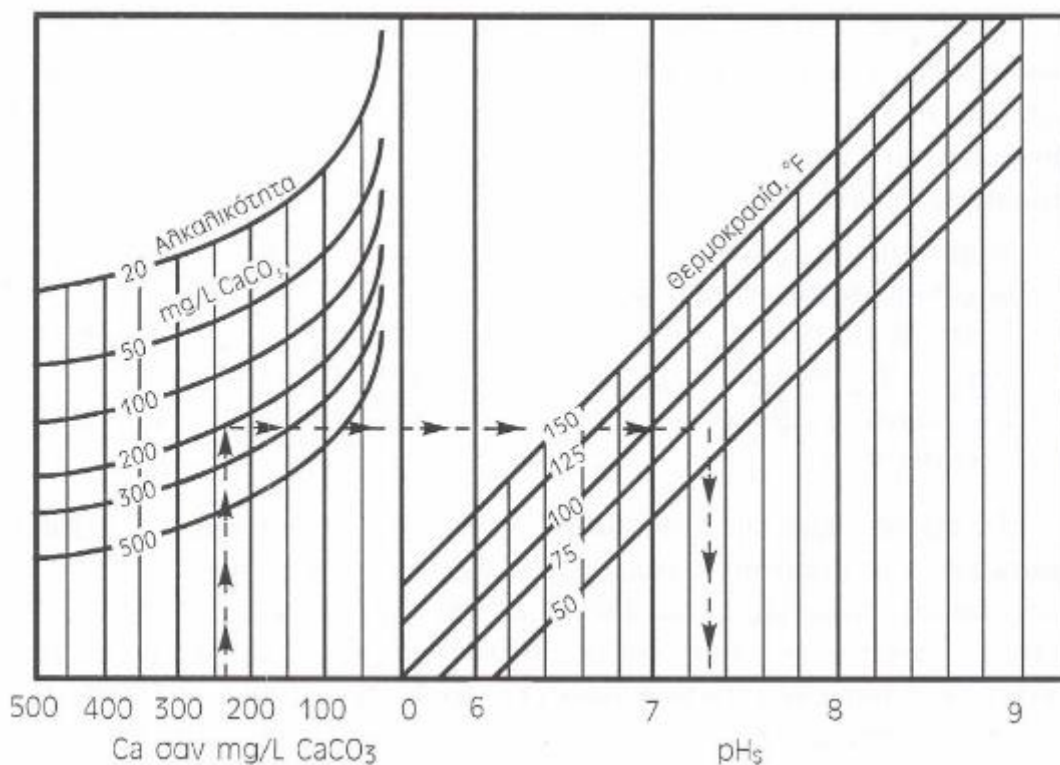
Σχ. 6: Διάγραμμα ταξινόμησης με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Na (διάγραμμα Wilcox).

1.3 Δείκτης Langelier ή Δείκτης Κορεσμού SI (Saturation Index)

Ο Langelier ανέπτυξε έναν δείκτη βασισμένο στην διαλυτότητα αλλά και τον διαχωρισμό των παραμέτρων με έναν ευρηματικό τρόπο να συνδυάσει την αλκαλικότητα, το pH και την σκληρότητα με την βοήθεια των οποίων να προσδιορίσει το pH στο οποίο θα επέλθει ο κορεσμός σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο δείκτης έτσι ονομάζεται δείκτης κορεσμού SI ή δείκτης Langelier και προσδιορίζει την αποθετική ή διαβρωτική συμπεριφορά του νερού στους σωλήνες μεταφοράς. Η γενική μορφή του δείκτη κορεσμού είναι $SI = pH - pH_s$, όπου $pH =$ το μετρούμενο pH του νερού και $pH_s =$ το pH κορεσμού.

Ο Ryznar πρότεινε τον δείκτη σταθερότητας StI (Stability index) που δίνεται από τη σχέση: $StI = 2pH - pH_s$. Τιμές του StI μεγαλύτερες από 7 δηλώνουν διαβρωτικό νερό. Όταν ο δείκτης StI είναι μικρότερος από 7, το νερό έχει την τάση να αποθέσει άλατα.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το νομόγραμμα Langelier από το οποίο προκύπτει η τιμή του δείκτη, αν γνωρίζουμε τη σκληρότητα, την αλκαλικότητα, τη θερμοκρασία του νερού και το pH. π.χ. αν η σκληρότητα του Ca είναι 240 mg/L $CaCO_3$, η αλκαλικότητα 190 mg/L, η θερμοκρασία 70 °F (21 °C) και το $pH = 6,8$ από το διάγραμμα προκύπτει $pH_s = 7,3$ και συνεπώς ο δείκτης κορεσμού είναι $SI = pH - pH_s = 6,8 - 7,3 = - 0,5$



Σχ.7: Προσδιορισμός του δείκτη Langelier (Kemmer 1988, Nalco).

Η σημασία του προσήμου στον δείκτη είναι σημαντική καθώς οι θετικές τιμές δείχνουν ότι η τάση του νερού είναι να δημιουργήσει επικαθίσεις ενώ αντίθετα αρνητικές τιμές δείχνουν την τάση διαβρωτικής συμπεριφοράς.

1.4 Προβλήματα Ανοιχτών Συστημάτων Ανακυκλοφορίας Νερού

Τα ανοιχτά συστήματα ανακυκλοφορίας νερού είναι τα περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενα στον σχεδιασμό και την λειτουργία βιομηχανικών μονάδων. Χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι αφενός η έντονη εξάτμιση του νερού ψύξης με αποτέλεσμα την αλλαγή της συγκέντρωσής του αφετέρου η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην ποιότητά του. Τελικά το νερό αλλάζει συμπεριφορά και αποκτά συμπεριφορές που προκαλούν προβλήματα στο σύστημα όπως

- επικαθίσεις,
- διαβρωτική συμπεριφορά,
- χτίσιμο των πληρωτικών επιφανειών διασκορπίσεως εντός των ψυκτικών πύργων, και
- ανάπτυξη μικροβιολογικού φορτίου.

1.4.1 Επικαθίσεις (scaling)

Το νερό που ανακυκλοφορεί στο ανοιχτό δίκτυο ως ψυκτικό μέσο περιέχει διαλυμένα σε αυτό πολλά διαφορετικά ανόργανα συστατικά. Τα συστατικά αυτά κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να κατακρημνιστούν και να σχηματίσουν σκληρούς και πυκνούς κρυστάλλους που ονομάζουμε επικαθίσεις και οι οποίες χτίζουν μέσα στις σωλήνες και τα εξαρτήματα που ανακυκλοφορεί το νερό.

Τα πιο συνηθισμένα είδη επικαθήσεων προκαλούνται από αποθέσεις

Ανθρακικό ασβέστιο $CaCO_3$

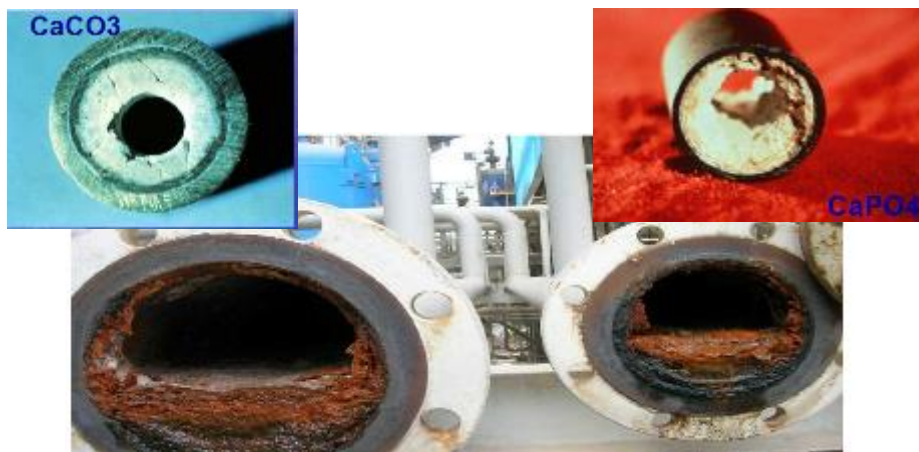
Πυριτικό μαγνήσιο $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ - Talc

Φωσφορικό ασβέστιο $Ca(H_2PO_4)_2$

Θειικό ασβέστιο $CaSO_4$

Οξείδιο του Σιδήρου FeO

Φωσφορικός Σίδηρος $Fe_3(PO_4)_2$



Σχ. 8: επικαθίσεις σε σωληνώσεις ανακυκλοφορίας νερού ψύξης

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στο νομόγραμμα του Langelier επιβεβαιώνουμε και στην πράξη ότι οι παράγοντες που ενισχύουν τον σχηματισμό επικαθήσεων είναι

- Η αυξημένη συγκέντρωση ανόργανων συστατικών
- Οι αυξημένες τιμές Ολικών διαλυμένων Στερεών
- Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού
- Η αύξηση της τιμής του pH

Επίσης το χτίσιμο των σωληνώσεων ευνοείται από την χαμηλή ταχύτητα κυκλοφορίας του νερού στο δίκτυο.

Συνδυασμός υψηλής θερμοκρασίας νερού και χαμηλής ταχύτητας ροής οδηγεί σε διάσπαση του όξινου ανθρακικού ασβεστίου που είναι διαλυμένο στο νερό σχηματίζοντας ανθρακικό ασβέστιο. Το ανθρακικό ασβέστιο είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό, διαχωρίζεται με την μορφή λεπτών κρυστάλλων και καθιζάνει ακολουθώντας όπως φαίνεται παρακάτω



Οι κατακρημνίσεις αυτές αποτίθενται στα τοιχώματα των σωληνώσεων όπου γρήγορα σχηματίζουν σκληρή και συνεκτική κρυσταλλική μεμβράνη.

Επιπλέον των επικαθήσεων αυτών έρχονται να προστεθούν και εκείνες που προκαλούν θολερότητα και έχουν είτε ανόργανη ή οργανική δομή.

Το ανόργανο υλικό εκτός των προϊόντων διάβρωσης και κατακρημνίσεων αλάτων φωσφορικού ασβεστίου ή ανθρακικού ασβεστίου είναι και σκόνη από τον περιβάλλοντα χώρο που συμπαρασύρεται και κατακρημνίζεται από τις μάζες αέρα.

Η οργανική ύλη συχνά σχηματίζει λάσπη ως προϊόν μεταβολισμού των βακτηρίων ή βιομάζας (EPS = Extracellular Polymeric Substances, Biomass) η οποία επικάθεται στους θαλάμους των Πύργων Ψύξεως.

Σε κάθε περίπτωση τα ιζήματα αυτά έχουν έντονο πορώδες το οποίο κατακρατά τα αιωρήματα που εμπεριέχονται στο νερό. Με τον τρόπο αυτό εξυπηρετείται ο ευτροφισμός των βακτηρίων που προάγει την ανάπτυξή τους.

Η περιοχή κάτω από την σχηματιζόμενη λάσπη αποτελεί συχνά περιοχή ανάπτυξης διάβρωσης.

Από τα παραπάνω μπορούμε εύκολα να προβλέψουμε τις περιοχές που περιμένουμε να συναντήσουμε προβλήματα επικαθήσεων και να φροντίσουμε ανάλογα την συντήρησή τους.

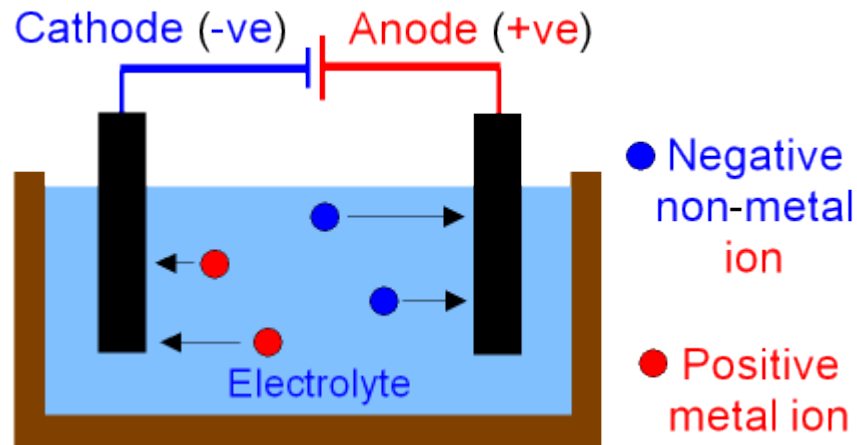
Έτσι οι ζεστές περιοχές των ψυκτικών συστημάτων, οι σωληνώσεις με χαμηλή ταχύτητα κυκλοφορίας νερού ή οι υπερδιαστασιοποιημένες σωληνώσεις αλλά και οι δεξαμενές του ζεστού που λιμνάζουν είναι οι πιο πιθανές περιοχές. Επίσης μακροχρόνια αδρανοποίηση της μονάδας ευνοεί τις επικαθήσεις στα σημεία που λιμνάζει νερό επιστροφών.

1.4.2 Διάβρωση (corrosion)

Η διάβρωση αποτελεί τον μηχανισμό κατά τον οποίο τα μέταλλα επιστρέφουν στην φυσική τους οξειδωμένη κατάσταση. Ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον δημιουργείται αυτόματα δυναμικό γαλβανικού στοιχείου, με πόλους το μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον και ηλεκτρολύτη τα προϊόντα διάβρωσης. Στο μέταλλο γίνονται

οξειδώσεις, αυτό θα αποτελεί τον αρνητικό πόλο του γαλβανικού στοιχείου, δηλ την άνοδό του (οξειδωτική), και το διαβρωτικό περιβάλλον θα αποτελεί τον θετικό πόλο του, την κάθοδο (αναγωγική).

Κατά την επαφή του μετάλλου με διαλύματα, υπάρχει η αυθόρμητη τάση του μετάλλου να διαβρωθεί αντικαθιστώντας τα ιόντα υδρογόνου του διαλύματος. Όσο περισσότερα τα ιόντα υδρογόνου (H^+) τόσο μεγαλώνει η τάση για διάβρωση δηλαδή όσο πιο όξινο ($pH \ll 7$) είναι το διάλυμα τόσο πιο έντονη η διάβρωση που θα προκαλέσει.



Σχ. 9: σχηματική απεικόνιση Ηλεκτρόλυσης

Το μέταλλο οξειδώνεται και χάνεται στην Άνοδο με την παρακάτω ακολουθία

Βήμα 1^ο – Στην Άνοδο καθαρός σίδηρος αρχίζει να διασπάται στην επαφή του με το νερό ψύξης. Στην φάση αυτή αφήνουμε ελεύθερα ηλεκτρόνια.

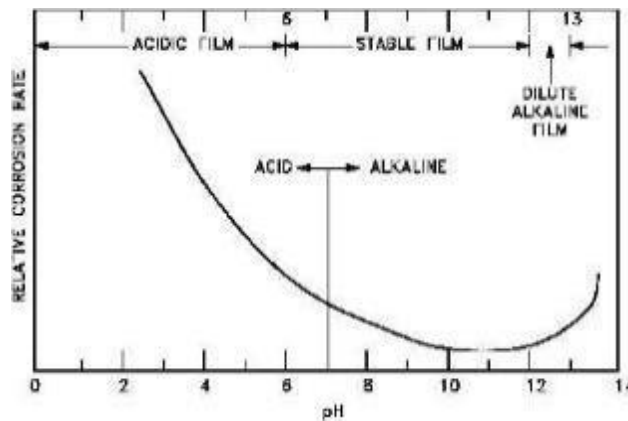
Βήμα 2^ο – Τα Ηλεκτρόνια μετακινούνται μέσα από το μεταλλικό σύρμα που ενώνει το κύκλωμα από την Άνοδο στην Κάθοδο

Βήμα 3^ο – Στην κάθοδο τα ηλεκτρόνια αντιδρούν με το οξυγόνο παράγοντας υδροξείδιο

Βήμα 4^ο – Τα διαλυμένα στερεά του νερού ψύξης δημιουργούν ένα αγωγίμο μέσο από το οποίο διέρχονται τα ηλεκτρόνια από την Κάθοδο και κλείνουν το Ηλεκτροχημικό κύκλωμα ταξιδεύοντας προς την Άνοδο.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διαβρωτική συμπεριφορά του νερού είναι

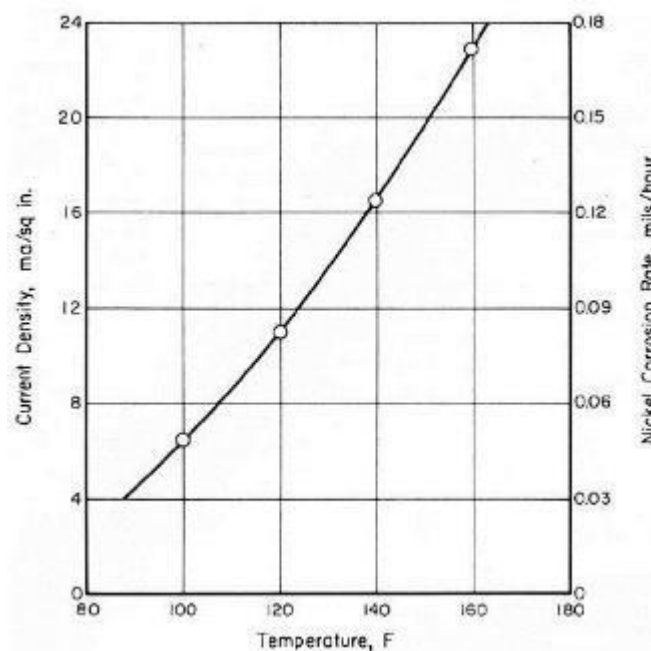
- pH



Σχ.10 : διαβρωτική συμπεριφορά σε σχέση με την τιμή του pH

- Θερμοκρασία (T)

Από το παρακάτω διάγραμμα γίνεται σαφές ότι για άνοδο της θερμοκρασίας κατά 18 °F έχουμε διπλασιασμό της διαβρωτικής ικανότητας.



Σχ.11: διαβρωτική συμπεριφορά σε σχέση με την θερμοκρασία του νερού

- Διαλυμένα στερεά
Όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση τόσο πιο αποδοτικά κλείνει το κύκλωμα και εντείνεται η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.
- Σημεία συσσωρευμένων επικαθίσεων
Αποτελούν τα σημεία που καθιστούν την Άνοδο στο κύκλωμα της ηλεκτρόλυσης
- Μικροβιολογική ανάπτυξη

Σημεία που καθιστούν την Άνοδο αλλά και ευνοούν την διάβρωση από τα παραπροϊόντα

- Ταχύτητα Κυκλοφορίας
Οι μεγάλες ταχύτητες οδηγούν σε μηχανική διάβρωση

Η διάβρωση αφορά όλα τα μέταλλα ή κράματα, ανεξάρτητα σε ποιον βαθμό εμφανίζουν παθητική ή ευγενή συμπεριφορά. Πρόκειται για την αυθόρμητη προδιάθεσή τους να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση αφού ενωθούν με το οξυγόνο και σχηματίσουν αντίστοιχα οξειδία. Η αυθόρμητη αυτή προδιάθεση περιγράφεται και από τον 2^ο Νόμο της Θερμοδυναμικής όπου αποδεικνύεται η τάση των υλικών να επανέρχονται σε κατάσταση χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης. Τα μέταλλα, αναγόμενα στην μεταλλική τους μορφή, είναι αναβαθμισμένα ενεργειακά υλικά σε σχέση με τις πρώτες Ύλες τους οπότε έχουν την τάση να επανέλθουν στην φυσική και σταθερή οξειδωμένη τους μορφή η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη απ' ότι τα καθαρά μέταλλα. Η διαδικασία αυτή συνήθως απελευθερώνει θερμότητα.

1.4.2.1 Τύποι Διάβρωσης

Όλα τα συστήματα ψύξης και ανακυκλοφορίας νερού επιβεβαιώνεται μεταλλουργικά ότι αναπτύσσουν κάποιου βαθμού διάβρωσης. Ο στόχος είναι να εντοπίζονται και ελέγχονται οι αιτίες που προκαλούν την διαβρωτική συμπεριφορά ώστε να επεκτείνεται το προσδόκιμο της καλής λειτουργίας του συστήματος.

Εξετάζουμε τους παρακάτω τύπους διάβρωσης ανάλογα με την οποία που την δημιουργούν.

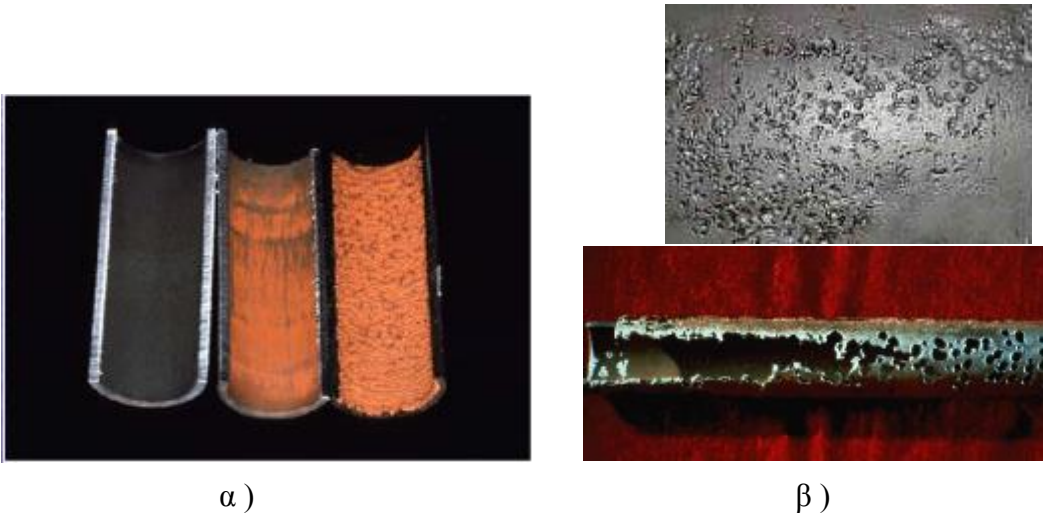
Γενικευμένη ή Ολική Διάβρωση

Η ηλεκτροχημική ή γαλβανική διάβρωση παρατηρείται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή ενώ εμβαπτίζονται σε ένα αγώγιμο υγρό, τον ηλεκτρολύτη. Τότε, το λιγότερο ευγενές (χημικά ενεργό) υλικό, η άνοδος, υφίσταται έντονη διάβρωση ενώ το περισσότερο ευγενές (χημικά αδρανές) υλικό, η κάθοδος, παραμένει σχετικά αλώβητο.

Μικροδιάβρωση ή Τοπική Διάβρωση

Υπάρχουν ουσίες που προκαλούν μόνο τοπική διατάραξη του παθητικού στρώματος του μετάλλου, οδηγώντας έτσι σε διάβρωση περιορισμένης έκτασης σε αντίθεση με την εκτεταμένη ή ολική διάβρωση. Η μικροδιάβρωση είναι μια τέτοιας μορφής διάβρωση που χαρακτηρίζεται από την προσβολή του μετάλλου σε μικρές διακριτές περιοχές της επιφάνειάς του. Μία ρωγμή στο στρώμα προστασίας του είναι ικανό να πυροδοτήσει μια γαλβανική αντίδραση όπου η περιοχή του απροστάτευτου μετάλλου καθίσταται η άνοδος

ενώ αυτή που την περιβάλλει – με το άθικτο στρώμα - η κάθοδος. Αυτή η δυσμενής αναλογία στις επιφάνειες ανόδου και καθόδου πυροδοτεί ραγδαία διάβρωση στην ευπαθή επιφάνεια του μετάλλου που αποτελεί την άνοδο



Σχ.12: α) περίπτωση Γενικευμένης διάβρωσης,

β) περίπτωση Μικροδιάβρωσης

Γαλβανική ή Ηλεκτροχημική Διάβρωση

Η ηλεκτροχημική ή γαλβανική διάβρωση παρατηρείται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή ενώ εμβαπτίζονται σε ένα αγώγιμο υγρό, τον ηλεκτρολύτη. Τότε, το λιγότερο ευγενές (χημικά ενεργό) υλικό, η άνοδος, υφίσταται έντονη διάβρωση ενώ το περισσότερο ευγενές (χημικά αδρανές) υλικό, η κάθοδος, παραμένει σχετικά αλώβητο. Παράγοντες που επηρεάζουν τη φύση της γαλβανικής διάβρωσης είναι η διαφορά στην «ευγένεια» (nobility) των δύο μετάλλων, η αναλογία της επιφάνειας μεταξύ τους και η αγωγιμότητα του διαλύματος - ηλεκτρολύτη

Οι γαλβανικές σειρές των μετάλλων δείχνουν πως θα είναι η ροή του ρεύματος μεταξύ δύο μετάλλων και ποιο από τα δύο μέταλλα θα διαβρωθεί όταν αυτά βρίσκονται σε επαφή και παρουσία ενός ηλεκτρολύτη (για παράδειγμα νερό).

Galvanic Series of Metals and Alloys
+ Corroded End (anodic, or increasingly active)
Magnesium and Magnesium alloys Zinc
Aluminum 1100 Cadmium Aluminum 2024-T4 Iron and Steel
Lead Tin Nickel (active) Inconel nickel-chromium alloy (active) Hastelloy Alloy C (active)
Brasses (Cu-Zn alloys) Copper Bronzes (Cu-Sn alloys) Copper-nickel alloys Monel (70Ni-30Cu)
Nickel (passive) Inconel (80Ni-13Cr-7Fe)
304 Stainless Steel (passive) 316 Stainless Steel (passive) Hastelloy Alloy C (passive)
Silver Titanium Graphite Gold Platinum
- Protected End (cathodic or increasingly inert)

Σχ.13: Γαλβανική Κλίμακα

Τα Μέταλλα που βρίσκονται χαμηλά στον πίνακα είναι τα λιγότερο ενεργά και καθιστούν την Κάθοδο οπότε έλκουν ηλεκτρόνια από την Άνοδο την οποία καθιστούν τα μέταλλα που βρίσκονται ψηλά στον πίνακα.

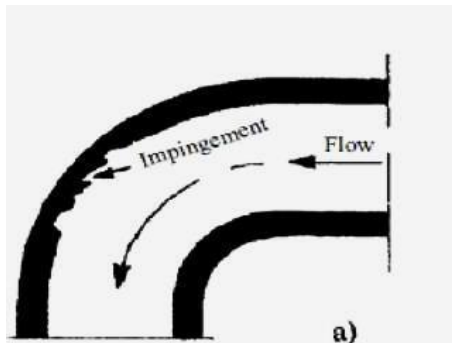
Διάβρωση με απόξεση

Όταν υπάρχει μία σχετική κίνηση του υγρού σε σχέση με ένα μεταλλικό υλικό βυθισμένο σε αυτό, η μεταλλική επιφάνεια σε πολλές περιπτώσεις υπόκειται μηχανική φθορά γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη διάβρωση, τη λεγόμενη διάβρωση με απόξεση (erosion).

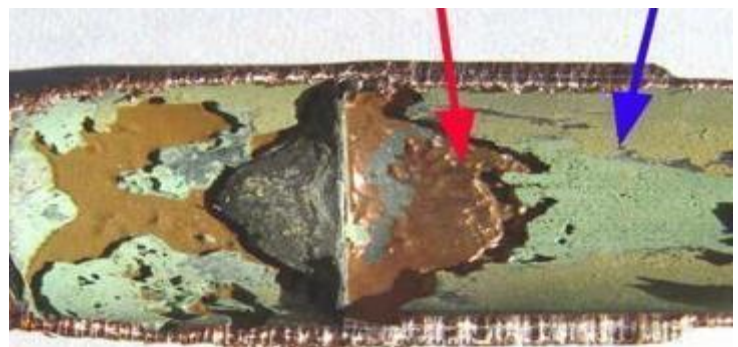
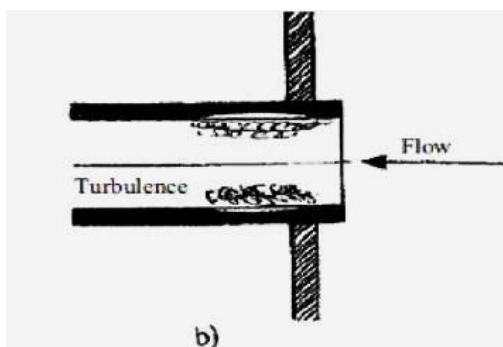
Ο μηχανισμός αυτού του είδους σχετίζεται με το ότι παρεμποδίζεται ο σχηματισμός των εναποθέσεων των προϊόντων της διάβρωσης ή των κατακρημνίσεων των αλάτων από τη διαδικασία της διάβρωσης, με αποτέλεσμα η επιφάνεια του μετάλλου να καθίσταται καθαρή από οτιδήποτε άλλο και συνεπώς πιο ενεργή. Σε μερικές σπάνιες περιπτώσεις, η διάβρωση αυτή μπορεί να συνοδεύεται και από μηχανική φθορά (mechanical erosion), στην οποία στερεά μόρια που κυκλοφορούν

μέσα στο εν λόγω υγρό παρασύρουν μόρια από την μεταλλική επιφάνεια και προκαλούν κατ' αυτόν τον τρόπο πλαστική παραμόρφωση, που καθιστά το μέταλλο ακόμη πιο ενεργό. Τα αποτελέσματα αυτής της διάβρωσης είναι αυλάκια ή ρωγμές με προσανατολισμό, ο οποίος καθορίζεται από τη ροή του υγρού και τις τοπικές συνθήκες αυτής.

Στην περίπτωση λοιπόν *erosion corrosion* έχουμε μια τυπική μορφή διάβρωσης σε μεγάλες ταχύτητες μεταξύ της μεταλλικής επιφάνειας και του υγρού και είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιπτώσεις ροής δύο φάσεων ή πολυφασικές (για παράδειγμα ροή υγρού - αερίου ή υγρού με στερεά μόρια μέσα στη ροή).



Σχ.14.α: Διάβρωση από πρόσκρουση σε αγωγούς με υψηλή ταχύτητα κυκλοφορίας του μέσου



Σχ.14.β.: Διάβρωση τυρβώδη ροή που αναπτύσσεται είτε μετά από απόθεση ή κάποιο στόμιο

1.4.3 Χτίσιμο Επιφανειών Διασκορπίσεως (fouling)

Η απόθεση αιωρούμενων αδιάλυτων στερεών ή ξένων σωματιδίων στο υλικό πλήρωσης των ψυκτικών μονάδων και η σταδιακή συσσώρευσή τους εμποδίζει την σωστή λειτουργία του και επιβαρύνει την απόδοση του ψυκτικού πύργου. Τα υλικά της απόθεσης συνίστανται είτε από ζωντανούς μικροοργανισμούς (βιο-οικοδόμηση ή βιο-απόθεση) ή από ανόργανα υλικά.

Τέτοια υλικά στο σύνολό τους μπορεί να είναι

- βρωμιά ή λάσπη από φερτά υλικά
- άμμος
- προϊόντα διάβρωσης που αποκολλώνται από σημεία μέσα στο σύστημα
- φυσικά οργανικά υλικά
- μικροβιακές μάζες

Το Φωσφορικό Αλουμίνιο και ο Φωσφορικός Σίδηρος θεωρούνται υλικά που μάλλον προκαλούν επικαθίσεις στο δίκτυο παρά απόθεση στα υλικά πλήρωσης. Ωστόσο μεταφορά τρισθενούς Al ή Fe προκαλεί συσσωματώματα φωσφορικών αιωρούμενων στερεών που επικαθονται στις επιφάνειες διασκορπίσεως.

Οι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποθετική συμπεριφορά είναι

τα ολικά στερεά διαλυμένα (TDS) ή αδιάλυτα (TSS). Όσο μικρότερη η συγκέντρωσή τους τόσο καλύτερη η συμπεριφορά του νερού.

η θερμοκρασία του συστήματος. Αυξημένη θερμοκρασία στο σύστημα αυξάνει την τάση του νερού για αποθετική συμπεριφορά καθώς η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας είναι πιο ζεστή από το νερό ψύξης και επιταχύνει πάνω σε αυτήν την απόθεση των TSS & TDS.

η ταχύτητα ανακυκλοφορίας του νερού. Σε χαμηλούς ρυθμούς ανακυκλοφορίας (<0,3m/sec) η απόθεση γίνεται με φυσικό τρόπο μέσω καθίζησης των στερεών. Σε υψηλότερους ρυθμούς το φαινόμενο αρχίζει να εκλείπει.

η ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου. Οι μικρο-οργανισμοί δύνανται να δημιουργήσουν αποθέσεις σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Επιπρόσθετα, διαβρωτικά ή βακτήρια ιόντων σιδήρου δημιουργούν αποθέσεις ορμόμενα από τον μεγάλο όγκο τους.

αιωρούμενα κομμάτια από διαβρώσεις. Κομμάτια που αποκολλώνται από τις διαβρώσεις συμπαρασύρονται και παραμένουν αδιάλυτα μέσα στο νερό ανακατεύονται με άλλα υλικά ή μικροβιακές μάζες σχηματίζοντας αποθέσεις.



Σχ.15 : αποφρακτική συμπεριφορά επικαθήσεων πάνω στις επιφάνειες διασκορπίσεως εντός του ψυκτικού πύργου

1.4.4 Ανάπτυξη Μικροβιακού Φορτίου (Microbial Growth)

Πρόκειται για δύο παράγοντες οι οποίοι μπορεί να συντελέσουν την ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου. Ένας παράγοντας είναι η πρόσθεση νερού από το δίκτυο όπου οι μικροοργανισμοί ήδη υπάρχουν και ο δεύτερος είναι οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί από την εισαγωγή νεπού αέρα περιβάλλοντος εντός της ψυκτικής μονάδας.

Ο πιο σημαντικός δείκτης είναι η ποσότητα των μικροοργανισμών που εμπεριέχονται σε κάθε ένα από τα μέσα νερό ή αέρας. Όταν η ποσότητα είναι μεγάλη και οι συνθήκες κατάλληλες τότε το μικροβιακό φορτίο αναπτύσσεται. Οι μικροοργανισμοί ευδοκιμούν σε περιβάλλον με Οξυγόνο και Διοξείδιο του Άνθρακα οπότε περιβάλλον με αυξημένη υγρασία και φως ευνοούν την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξής τους. Τέλος, οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται με μορφή γλίτσας ευνοούνται σε θερμοκρασίες μεταξύ 4 °C – 66 °C

Η πιο γνωστή μικροβιακή μόλυνση του νερού με συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία είναι η μόλυνση με το παθογόνο μικρόβιο της Λεγιονέλλας. Η Λεγιονέλλα αποτελεί μια ομάδα βακτηρίων που υπάρχει σε όλα τα φυσικά υδάτινα ρεύματα και βιοφίλμ. Περίπου τα μισά είδη αυτής της ομάδας προσβάλουν την ανθρώπινη υγεία προκαλώντας πνευμονία. Η μόλυνση από τα βακτηρίδια προκαλείται με την μεταφορά τους στον άνθρωπο είτε από μολυσμένα σταγονίδια νερού που αιωρούνται στον αέρα ή από εισπνοή ατμού πάνω από συστήματα ή συσκευές μέσα στις οποίες ανακυκλοφορεί μολυσμένο με το βακτήριο της Λεγιονέλλας νερό.



Σχ.16 : ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου (οικισμών) σε μέρη του Πύργου Ψύξης

Κεφάλαιο 2 : Εγκατάσταση

Η μονάδα εξυπηρετείται από ανοιχτό κύκλωμα ανακυκλοφορίας νερού. Το νερό χρησιμοποιείται κυρίως για την ψύξη του τηγμένου αλουμινίου κατά την διαδικασία της αμέσου ψύξης χύτευσης αλουμινίου. Επιπλέον χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες του δικτύου πυρόσβεσης του εργοστασίου.

Το σύστημα είναι ανοιχτό αφού έχουμε απώλειες μέσω εξάτμισης από τους Πύργους Ψύξης αλλά και μέσω της απόρριψης της στρατσώνας που είναι απαραίτητη για την ανανέωση του νερού του δικτύου. Οι απώλειες αυτές συμπληρώνονται με νερό από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ.

2.1 Μονάδα Διύλισης Εισερχόμενου Νερού

Εντός του γηπέδου εγκατάστασης της Βιομηχανίας λειτουργεί μονάδα διύλισης που επεξεργάζεται το εισερχόμενο αδιύλιστο νερό που τροφοδοτείται η εγκατάσταση από την ΕΥΔΑΠ. Η προέλευση του αδιύλιστου νερού είναι είτε από το ταμιευτήρα του Μόρνου είτε από το ταμιευτήρα της Υλίκης.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εισερχομένου νερού, ανεξάρτητα από την προέλευση του, μεταβάλλονται, δηλαδή, παρατηρείται μία μεταβολή στη συγκέντρωση των διαλυμένων και των αιωρούμενων στερεών ανάλογα με την ένταση και την περίοδο των βροχοπτώσεων, τη στάθμη του ταμιευτήρα και άλλους παράγοντες. Επιπλέον έχει προσδιοριστεί σημαντική διαφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού των δύο προαναφερθέντων προελεύσεων. Παρατηρούμε ότι το νερό που προέρχεται από τον ταμιευτήρα της Υλίκης είναι πιο επιβαρυνμένο κυρίως σε οργανική ύλη, TSS (*Total Suspended Solids*) και TDS (*Total Dissolved Solids*) σε σχέση με το νερό που προέρχεται από τον ταμιευτήρα του Μόρνου. Συνεπώς για τη χρήση του νερού στην παραγωγική διαδικασία απαιτείται η κατεργασία του (καταβύθιση, κατακράτηση του μεγαλύτερου ποσοστού των TSS), για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων και οργανικών στερεών μέσω κροκίδωσης και καθίζησης.

Ειδικότερα το αδιύλιστο νερό που εισέρχεται στην εγκατάσταση υπόκεινται σε επεξεργασία εντός του γηπέδου της και στη συνέχεια μέρος του βελτιωμένου σε ποιότητα διυλισμένου νερού υφίσταται περαιτέρω κατεργασία σε μία μονάδα αντίστροφης ώσμωσης για τη βελτίωση της ποιότητας του σύμφωνα με τις προδιαγραφές της παραγωγικής διαδικασίας.

Η μονάδα διύλισης αποτελείται από: μία δεξαμενή καθίζησης, μία ενδιάμεση δεξαμενή (buffer), ένα αμμόφιλτρο και μία δεξαμενή συλλογής καθαρού/ διυλισμένου νερού.

Κατά τη λειτουργία της μονάδας διύλισης το αδιύλιστο εισερχόμενο νερό παραμένει αρχικά στη δεξαμενή καθίζησης, όπου γίνεται προσθήκη χημικών επεξεργασίας (χλωριούχου πολυαργιλίου (PAC), πολυηλεκτρολύτης) σε κατάλληλες συγκεντρώσεις, έτσι ώστε να επιτευχθεί κροκίδωση, συσσωμάτωση και να επιτευχθεί επιτάχυνση της καθίζησης των αιωρούμενων

σωματιδίων και του οργανικού φορτίου (που τυχόν περιέχει το αδιύλιστο νερό) και στη συνέχεια υπόκεινται σε χλωρίωση με προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου.

Μετά την καθίζηση, το νερό οδηγείται σε μια δεξαμενή αναμονής (ενδιάμεση δεξαμενή) και στη συνέχεια αντλείται σε αμμόφιλτρο για περαιτέρω επεξεργασία. Μετά τη διέλευσή του από το αμμόφιλτρο οδηγείται στη δεξαμενή συλλογής καθαρού/ διυλισμένου νερού.

Τέλος από τη δεξαμενή συλλογής καθαρού/διυλισμένου νερού, το νερό αντλείται προς:

(α) την μονάδα αντίστροφης ώσμωσης,

(β) το αντλιοστάσιο

Τα υδατικά απόβλητα που προκύπτουν από την κατεργασία του εισερχόμενου αδιύλιστου νερού είναι:

- Υδατικά απόβλητα από τη διύλιση (καθίζηση αιωρούμενων στερεών) του νερού της ΕΥΔΑΠ.
- Υδατικά απόβλητα που προκύπτουν από ξεπλύματα των αμμόφιλτρων.

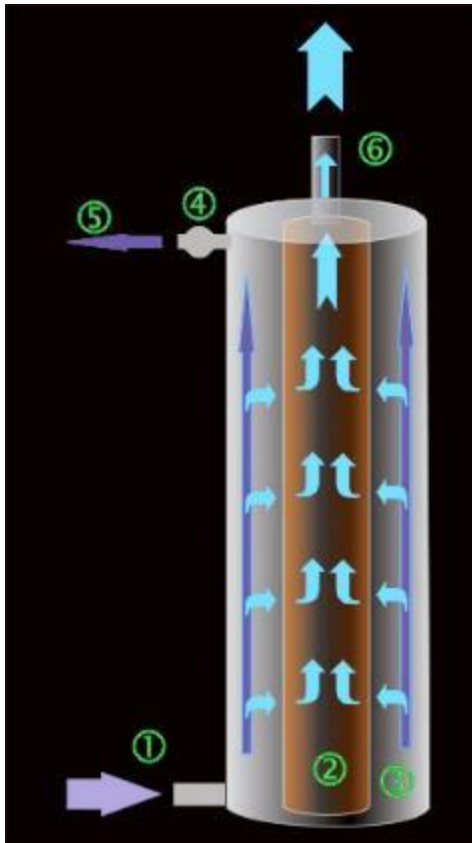
Τα υδατικά απόβλητα και των δύο ρευμάτων, οδηγούνται σε ξεχωριστά φρεάτια και από εκεί σε διαφορετικές δεξαμενές από όπου αντλούνται από βυτιοφόρα και διατίθεται σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) μέσω αδειοδοτημένων φορέων.

2.2 Μονάδα Αντίστροφης Ώσμωσης (RO)

Στην συνέχεια το διυλισμένο νερό υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία μέσω της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης. Η επεξεργασμένη/ διηθημένη εκροή χρησιμοποιείται για την συμπλήρωση του ανοιχτού κυκλώματος του νερού.

Τα υδατικά απόβλητα που προκύπτουν από τις απορρίψεις των ωσμώσεων και από τις περιοδικές πλύσεις, καθαρισμούς των μονάδων ώσμωσης, υδατικά απόβλητα ωσμώσεων συλλέγονται και οδηγούνται σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) μέσω αδειοδοτημένων φορέων.

Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης είναι ρυθμισμένη έτσι ώστε να οδηγείται περίπου το 1/3 της ποσότητας του εισερχόμενου νερού στο συμπύκνωμα απόρριψης, δηλαδή να συμπυκνώνονται τα άλατα του νερού με ένα συντελεστή της τάξης του 3.



Από το σημείο **1** εισέρχεται το νερό με την πίεση του δικτύου στην συσκευή αντίστροφης ώσμωσης.

Μέσα σε αυτήν υπάρχει μια κυλινδρική μεμβράνη **2**.

Το νερό βρίσκεται υπό πίεση μέσα στον χώρο **3** αφού στην έξοδο **5** υπάρχει μια βαλβίδα **4** που επιτρέπει στο νερό να φεύγει όταν ξεπεραστεί μια πίεση 4 bar.

Λόγω ακριβώς της πίεσης που υπάρχει μέσα στον χώρο **3**, ένα μέρος από το νερό υποχρεώνεται να περνά μέσα από την μεμβράνη για να βρει έξοδο προς το σημείο **6**. (Αν δεν υπήρχε η πίεση, δεν θα περνούσε καθόλου νερό μέσα από την μεμβράνη)

Μέσα από την μεμβράνη όμως μπορούν να περάσουν τα μόρια του νερού, αλλά όχι και τα διαλυμένα άλατα και άλλες οργανικές και ανόργανες ενώσεις που υπάρχουν στο νερό του δικτύου. Έτσι, ένα μέρος του νερού (περίπου 30%) φεύγει από την έξοδο **5** και ένα άλλο μέρος (70%) από την έξοδο **6**. Αυτό το νερό που φεύγει από την έξοδο **6** είναι απαλλαγμένο κατά 90% από όλα τα άλατα και λοιπές ουσίες που υπήρχαν στο νερό πριν μπει στην συσκευή.

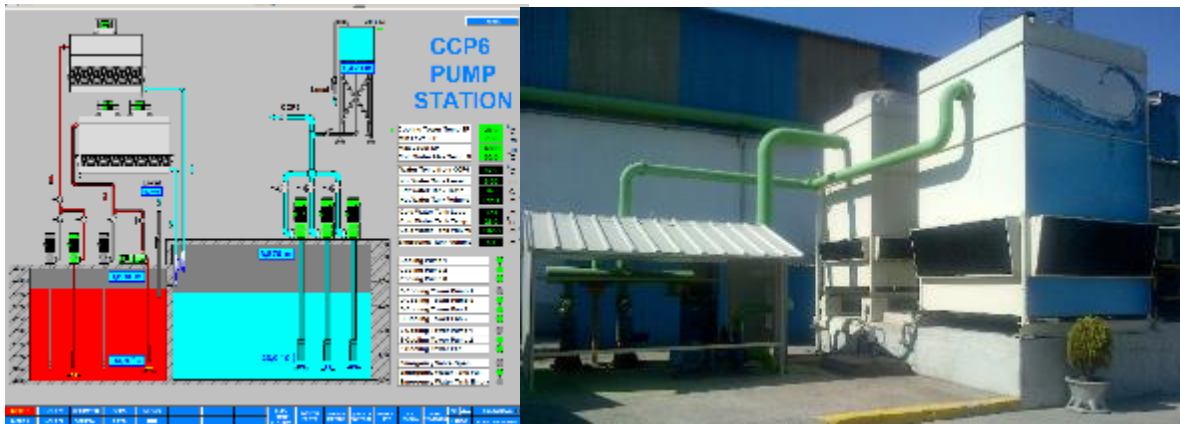
Σχ.17: Συσκευή επεξεργασίας αντίστροφης ώσμωσης

2.3 Ανοικτό Κύκλωμα Ανακυκλοφορίας του Νερού Ψύξης

2.3.1 Μέρη δικτύου

Το δίκτυο του νερού ψύξης περιλαμβάνει

1. Το πηγάδι χύτευσης μέσα στο οποίο καταλήγει το νερό μετά την απαγωγή θερμότητας από το τηγμένο μέταλλο.
2. Τους αγωγούς μέσω των οποίων επιστρέφει το νερό στις δεξαμενές μέσω υπερχειλίσης.
3. Την δεξαμενή του ζεστού νερού που συλλέγεται η υπερχειλίση του ζεστού νερού από το πηγάδι.
4. Το συγκρότημα των πύργων ψύξης όπου απορρίπτεται στο περιβάλλον η προσροφημένη από το μέταλλο θερμότητα.
5. Την δεξαμενή του κρύου νερού όπου εκρέει η ποσότητα του νερού μετά τους πύργους ψύξης
6. Το δίκτυο σωληνώσεων όπου το κρύο νερό παρέχεται με την βοήθεια αντλιών στα καλούπια ψύξης του αλουμινίου και κλείνει το κύκλωμα.



Σχ.18: Μιμικό διάγραμμα των δεξαμενών με τους πύργους ψύξης από το HMI του εργοστασίου και η απεικόνιση της εγκατάστασης.

Τόσο το πηγάδι όσο και οι δεξαμενές είναι στεγανές και δεν επιτρέπουν οποιεσδήποτε διαρροές από το σύστημα.

Οι αγωγοί που επιστρέφουν το νερό από το πηγάδι προς τις δεξαμενές έχουν μεγάλη διατομή για τον όγκο και την ταχύτητα του νερού που μεταφέρουν. Το νερό στην φάση αυτή επιστρέφει με φυσική ροή.

Το δίκτυο σωληνώσεων που μεταφέρει το νερό από την δεξαμενή κρύου νερού στα καλούπια χύτευσης με την βοήθεια των αντλιών κυκλοφορεί μέσα του νερό υψηλής ταχύτητας και πίεσης ενώ για να αποφεύγονται φαινόμενα υδραυλικών πληγμάτων έχουν εγκατασταθεί inverter στην οδήγηση των αντλιών.

Αφού το νερό ολοκληρώσει τη δουλειά του και στερεοποιήσει το τηγμένο μέταλλο, περιέχει θερμότητα η οποία πρέπει να αφαιρεθεί. Αυτό επιτυγχάνεται μεταφέροντας τη θερμότητα στο περιβάλλον.

Στα ανοιχτά συστήματα ανακυκλοφορίας (open recirculating systems), το νερό εξατμίζεται. Αυτή η αλλαγή φάσης από υγρό σε αέριο αφαιρεί τη θερμότητα από το νερό και την προσφέρει στην ατμόσφαιρα. Το εξατμιζόμενο νερό διασκορπίζει περίπου 1000 Btu/pound (555 cal/kg) του νερού που μετατρέπεται σε ατμό. Όταν η εξάτμιση χρησιμοποιείται στην διεργασία ψύξης, μπορεί να διασκορπίσει 50 με 100 φορές περισσότερη θερμότητα προς το περιβάλλον ανά μονάδα νερού από ότι ένα μη εξατμιστικό σύστημα (non evaporative system).

Αυτό που μπορεί να εξατμιστεί είναι μόνο το καθαρό νερό ενώ τα διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά που αφήνει παραμένουν στο σύστημα αυξάνοντας την συγκέντρωσή τους. Αν δεν υπήρχε απώλεια εκτός της εξάτμισης αυτά τα στερεά θα συγκεντρώνονταν προς σχηματισμό αλατόνευρο προκαλώντας μαζική απόθεση και διάβρωση. Προκειμένου να εξισορροπηθεί αυτή η αύξηση στην συγκέντρωση μια ελεγχόμενη ροή αφαιρείται από το σύστημα ανακυκλοφορίας με την διαδικασία της στρατσώνας.

2.3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος

Χαρακτηριστικό της λειτουργίας του κυκλώματος αποτελεί η **Παροχή Ανακυκλοφορίας Q_c** (m^3) που αφορά την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την ψύξη και την

στερεοποίηση του αλουμινίου κατά την διαδικασία της χύτευσης και επιστρέφει στην μονάδα των πύργων ψύξης.

Το σύστημα εργάζεται σε **Περιοχή Θερμοκρασιών ή σε Διαφορική Θερμοκρασία $\Delta T \approx 10^\circ\text{C}$** ανάμεσα στην μέση θερμοκρασία του νερού που επιστρέφει στους πύργους ψύξης και την μέση θερμοκρασία του νερού μετά την εξάτμιση.

Η ποσότητα του νερού που χάνεται προς την ατμόσφαιρα κατά την διαδικασία της ψύξης αποτελεί το ποσό της **Εξάτμισης (m^3/min)**. Ο ρυθμός της εξάτμισης εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που ψύχεται Q_c αλλά και την διαφορά θερμοκρασίας ΔT . Η διαφορά αυτής της θερμοκρασίας ονομάζεται **περιοχή ψύξης**. Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι για κάθε $5,6^\circ\text{C}$ πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διεργασία της εξάτμισης, το 1% της παροχής ανακυκλοφορίας (Q_c) εξατμίζεται. Συνεπώς για την δική μας περίπτωση $\Delta T=10^\circ\text{C}$ στον πύργο ψύξης παράγει μια απώλεια εξάτμισης της τάξης του 1,8% της παροχής ανακυκλοφορίας ($0,018Q_c=E$).

Η ποσότητα της εξάτμισης σε $\frac{m^3}{h}$

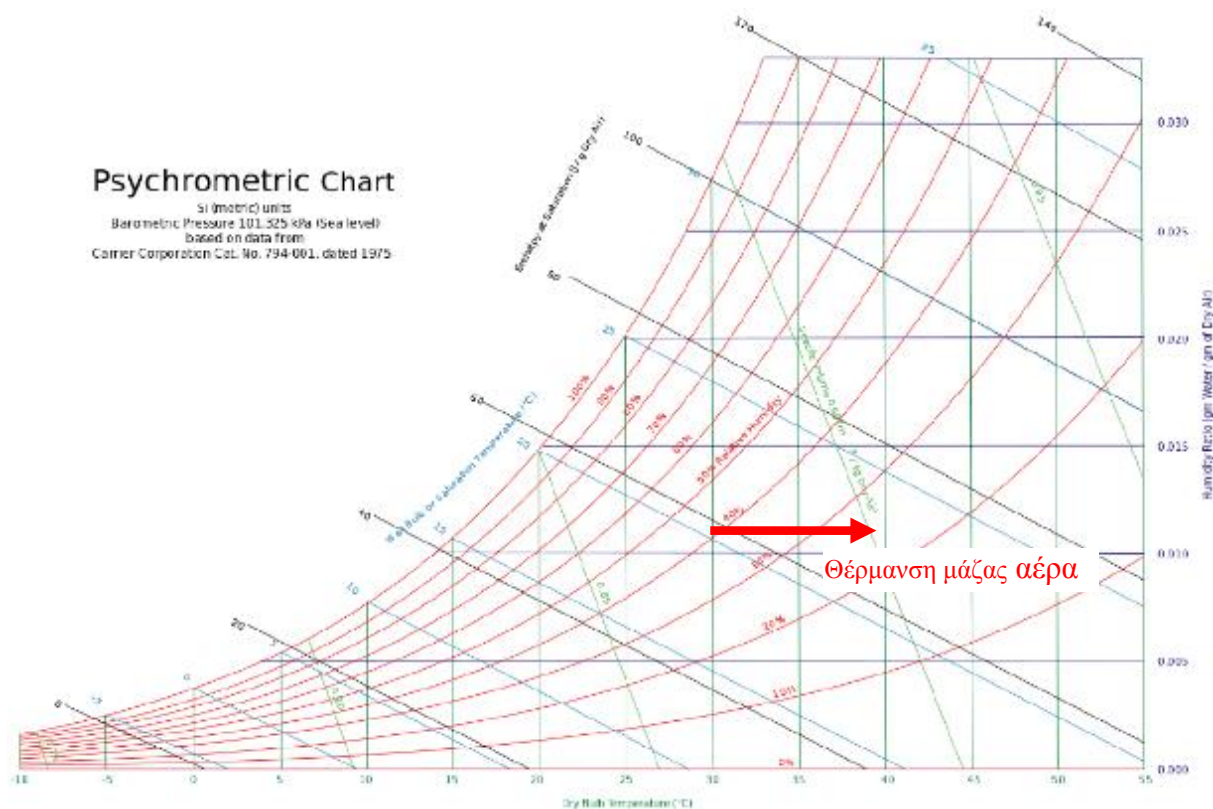
$$E = Q_c \times \frac{T_2 - T_1}{555}$$

Υπάρχουν παρ'όλα αυτά παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση και δεν συνυπολογίζονται στον παραπάνω τύπο. Έτσι ρυθμιστικό παράγοντα συντελεί η σχετική υγρασία του αέρα η οποία προσδιορίζεται μετρώντας τις θερμοκρασίες του υγρού και ξηρού θερμομέτρου (Wet and Dry bulb Temperatures). Έτσι το E μπορεί να είναι χαμηλό σε περιοχές υψηλής υγρασίας και αντίστοιχα πολύ υψηλό σε περιοχές ξηρού περιβάλλοντος. Συνήθως ως θερμοκρασία υγρού βολβού θεωρείται αυτή των 20°C και ο Πύργος Ψύξης υπολογίζεται να ψύξει το νερό σε θερμοκρασία $3-5^\circ\text{C}$ μεγαλύτερη. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας ονομάζεται **προσέγγιση**.

Η **Θερμοκρασία Υγρού Βολβού** υπολογίζεται με την βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη ως σημείου που καθορίζεται από τις συντεταγμένες της **Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού** και της **Σχετικής Υγρασίας**. Αναμενόμενο είναι η επίτευξη χαμηλότερων θερμοκρασιών ψύξης σε συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας αέρα περιβάλλοντος και αντίστοιχα μεγαλύτερη αποδοτικότητα της λειτουργίας του πύργου ψύξης.

Κατά την ανταλλαγή θερμότητας αέρα-νερού η μάζα του αέρα θερμαίνεται. Από το ψυχομετρικό διάγραμμα γίνεται σαφές ότι η θέρμανση του αέρα πραγματοποιείται με σταθερή την απόλυτη υγρασία του. Αντίθετα η σχετική υγρασία της μάζας του αέρα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την θερμοκρασία του και έτσι μειώνεται. Έτσι όσο περισσότερο θερμαίνεται η αέρια μάζα τόσο πιο ακόρεστη γίνεται.

Με τη δημιουργία ικανής διεπιφάνειας μεταξύ υγρής και αέριας φάσης επιδιώκεται η αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα. Η τελική θερμοκρασία του αέρα, όταν η συσκευή είναι αρκετά μεγάλη ώστε ο αέρας να εξέρχεται κορεσμένος, είναι η θερμοκρασία αδιαβατικού κορεσμού.

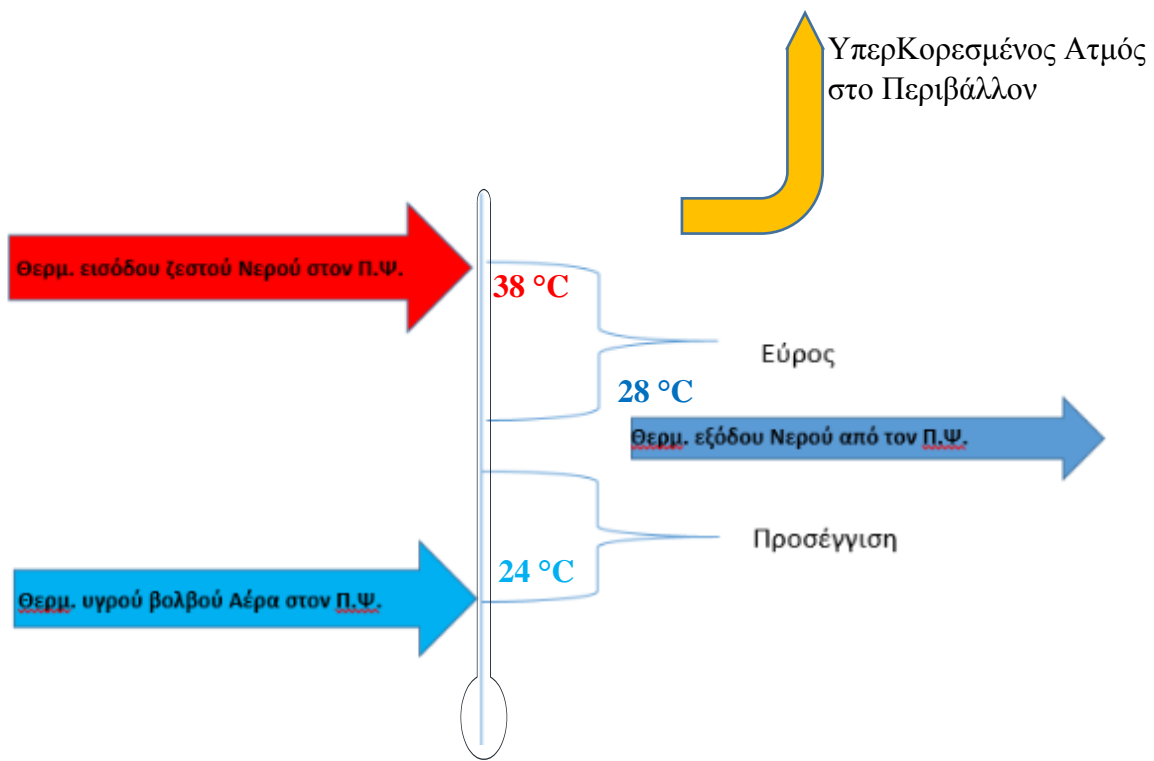


Σχ.19.: Ψυχομετρικός Χάρτης

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PsychrometricChart.SeaLevel.SI.svg>

Εφόσον ο αέρας δεν είναι κορεσμένος, το νερό της σταγόνας αρχίζει να εξατμίζεται. Σχηματίζεται δηλαδή γύρω από τη σταγόνα ένα οριακό στρώμα συγκέντρωσης έτσι ώστε στη διεπιφάνεια με το υγρό να επικρατούν τοπικά συνθήκες θερμοδυναμικής ισορροπίας ενώ μακρύτερα η συγκέντρωση υδρατμού να προσεγγίζει την τιμή που επικρατεί στην κύρια μάζα του. Το γραμμομοριακό κλάσμα υδρατμών στη διεπιφάνεια είναι υψηλότερο του γραμμομοριακού κλάσματος στην κύρια μάζα του αέρα, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα μεταφορά μάζας υδρατμού από τη διεπιφάνεια προς τον αέρα. Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας είναι ακριβώς αυτός που καθορίζει το ρυθμό εξάτμισης νερού από τη σταγόνα (αν δεν λάβαινε χώρα μεταφορά μάζας, το νερό που εξατμίστηκε θα μετέτρεπε σύντομα τον αέρα γύρω από τη σταγόνα σε κορεσμένο και θα σταματούσε κάθε περαιτέρω εξάτμιση).

Καθώς η εξάτμιση συνεχίζεται ανεμπόδιστη (εφόσον λόγω του μεγάλου όγκου αέρα η συγκέντρωση υδρατμού στην κύρια μάζα του δε μεταβάλλεται και συνεπώς η ωθούσα δύναμη για μεταφορά μάζας παραμένει αμετάβλητη) υπάρχει μια διαρκής τάση διαφυγής της εσωτερικής ενέργειας, με τη μορφή θερμότητας εξάτμισης, από τη σταγόνα προς το περιβάλλον. Έτσι το συμπληρωματικό φαινόμενο είναι η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από τον θερμότερο αέρα προς την ψυχρότερη επιφάνεια της σταγόνας. Συνεπώς, η τελική θερμοκρασία υγρού βολβού είναι τόσο χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα ώστε η εκροή θερμότητας λόγω εξάτμισης να ισορροπείται ακριβώς από την εισροή λόγω συναγωγής.



Σχ.20: απεικόνιση Εύρους και Προσέγγισης

Το σύστημα ανοικτής ανακυκλοφορίας και επαναχρησιμοποίησης είναι αναγκαίο να ανανεώνεται εισάγοντας επαρκή **συμπλήρωση φρέσκου νερού** (*make up*) M (m^3) για να εξισορροπήσει το νερό που εξατμίζεται (*evaporation*) και το νερό που εξάγεται (*blow down*) από το σύστημα μέσω στρατσωνισμού για τον έλεγχο του χημικού χαρακτήρα του ανακυκλούμενου νερού.

Προοδευτικά, λόγω της εξάτμισης, η συγκέντρωση των TSS και TDS μεγαλώνει. Επομένως η στρατσώνα λαμβάνει χώρα προκειμένου να αντισταθμίσει τις παραπάνω συγκεντρώσεις. Ο τρόπος με τον οποίο καθορίζονται η ποσότητα και η συχνότητα στρατσωνισμού προκύπτει από τον υπολογισμό του τύπου

$$\text{Blow Down} = \frac{\text{Evaporation}}{C.O.C. - 1}$$

Όπου

C.O.C. (*Cycles of Concentration*) ή **Κύκλοι Συμπύκνωσης** αποτελούν τον λόγο των διαλυμένων αλάτων στο κυκλοφορούν νερό προς τα διαλυμένα άλατα στο νερό συμπλήρωσης (*Make Up*).

Τέλος μικρή αλλά υπαρκτή ποσότητα αποτελεί και η ποσότητα του νερού που χάνεται από **διαρροές** στο σύστημα. Οι διαρροές προκύπτουν είτε από φθορά σωληνώσεων και αγωγών του συστήματος ανακυκλοφορίας ή από εργασίες αποκατάστασης μηχανολογικών βλαβών π.χ. σε αντλίες ή βάνες.

Τελικά έχουμε

$$\text{Make Up} = \text{Evaporation} + \text{Blow Down} + \text{Losses} \quad (m^3)$$

Η αποδοτικότητα (effectiveness) % υπολογίζεται από τον λόγο του Εύρους προς το άθροισμα του Εύρους και της Προσέγγισης.

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Εύρος}}{\text{Εύρος} + \text{Προσέγγιση}}$$

Όμως,

$$\text{Εύρος} = T_{Win} - T_{Wout}, \text{ Προσέγγιση} = T_{Wout} - T_{airwetbulb}$$

Επομένως η σχέση γίνεται

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{T_{Win} - T_{Wout}}{T_{Win} - T_{airwetbulb}}$$

Η Ποιότητα του εισερχόμενου αέρα στο σύστημα συμμετέχει στις κρίσιμες παραμέτρους λειτουργίας και απόδοσης του συστήματος. Πύργοι Ψύξης που λειτουργούν σε επιβαρυσμένο Βιομηχανικό περιβάλλον ειδικά όταν εργάζονται δίπλα σε καμινάδες φούρνων, αγωγούς εξόδου, εξαεριστήρες ή εξάτμισεις εισάγουν μαζί με τον εισερχόμενο αέρα σημαντικό φορτίο σωματιδίων τα οποία θα καταλήξουν σε αποθέσεις εντός της μονάδας και επιταχυνόμενη διάβρωση.

Αντίστοιχα οι Πύργοι Ψύξης δεν πρέπει να τοποθετούνται κοντά στην εισαγωγή νερού αέρα στους εσωτερικούς χώρους καθώς ο υπερκορεσμένος αέρας αλλάζει τοπικά την υγρασία και μεταφέρει σταγονίδια από παράσυρση.

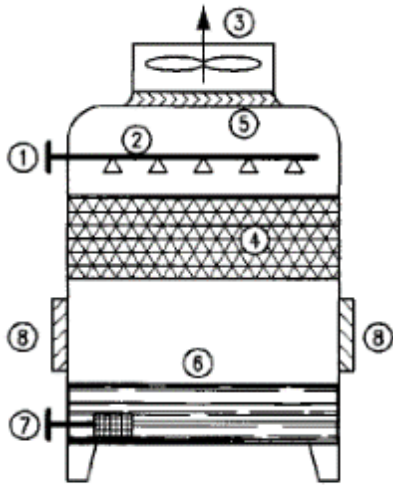
2.3.3. Περιγραφή Τύπου και Λειτουργίας Πύργου Ψύξης

Ο πύργος ψύξης είναι συσκευή, μέσα στην οποία έρχονται σε επαφή ένα ρεύμα αέρα περιβάλλοντος με ένα ρεύμα θερμού νερού και λαμβάνουν χώρα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Το θερμό νερό ψύχεται αφενός λόγω συναγωγής με το ρεύμα του αέρα αφετέρου λόγω της μεταφοράς θερμότητας μέσω εξάτμισης.

Τα θερμά ρεύματα νερού συλλέγονται και οδηγούνται στην κορυφή του πύργου, όπου καταιονίζονται με πίεση και να αυξηθεί έτσι η διεπιφάνεια για να έρθουν σε άμεση επαφή με ρεύμα αέρα του περιβάλλοντος που εισέρχεται από τον πυθμένα και κινείται σε αντιρροή. Το πληρωτικό υλικό του πύργου εξασφαλίζει ικανοποιητική επιφάνεια εναλλαγής μεταξύ υγρής και αέριας φάσης. Η κίνηση του αέρα προκαλείται με εξαναγκασμένο ελκυσμό (ανεμιστήρες τοποθετημένοι στην κορυφή ή τα πλευρικά τοιχώματα του πύργου). Στην κορυφή του πύργου υπάρχει διάταξη συγκράτησης των σταγονιδίων νερού που παρασύρονται προς τα πάνω με τη ροή του αέρα.

Το υγρό ψύχεται επειδή ένα μικρό τμήμα του εξάτμιζεται και το υπόλοιπο συνεισφέρει την ενθαλπία εξάτμισης εις βάρος της αισθητής του θερμότητας. Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα επειδή η κύρια μάζα του αέρα είναι ακόρεστη σε υδρατμούς, ενώ η μάζα του αέρα που βρίσκεται κοντά στη διεπιφάνεια με το νερό είναι κορεσμένη. Η διαφορά της συγκέντρωσης υδρατμών μεταξύ διεπιφάνειας και κύριας μάζας αέρα (ωθούσα δύναμη) προκαλεί μεταφορά υδρατμού κατά τη διεύθυνση της ωθούσας δύναμης. Επειδή στη διεπιφάνεια επικρατούν συνθήκες θερμοδυναμικής ισορροπίας, η μεταφορά υδρατμού προς την κύρια μάζα του αέρα εξισορροπείται με διαρκή εξάτμιση από το υγρό.

Παρατηρούμε ότι η ψύξη του νερού που αποτελεί καταρχήν θερμικό φαινόμενο δεν επιτυγχάνεται μόνο από τον αέρα ο οποίος σε κάθε περίπτωση έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα αλλά ελέγχεται και από τη μεταφορά μάζας.



Σχ.21: απεικόνιση Πύργου Ψύξης τύπου Αντιρροής Αναρόφησης

ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

1. Είσοδος του νερού στον Πύργο Ψύξης
2. Σύστημα διανομής του νερού με σωλήνωση διασκορπισμού και ακροφύσια
3. Ανεμιστήρας Αναρρόφησης Αέρα Ψύξης
4. Επιφάνεια Διασκορπισμού
5. Διάταξη συγκράτησης σταγονιδίων νερού
6. Λεκάνη κρύου νερού
7. Έξοδος κρύου νερού προς την δεξαμενή
8. Είσοδος του νωπού Αέρα στον ΠΨ

Η ύγρανση του αέρα γίνεται εντός του Πύργου Ψύξης επομένως θεωρούμε ότι έχουμε συνθήκες αδιαβατικής λειτουργίας δηλ. θερμικά μονωμένη συσκευή στην οποία η εσωτερική επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας είναι πολύ μεγαλύτερη από την αλληλεπίδραση της συσκευής με το περιβάλλον. Έτσι η διαδικασία αυτή θεωρείται *αδιαβατική ύγρανση*.

Επειδή, η εξάτμιση συνοδεύεται από έντονη απορρόφηση θερμότητας με αμελητέα εναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον προκύπτει ότι η αύξηση της υγρασίας του αέρα θα συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας του. Δηλαδή, η ενθαλπία εξάτμισης θα προέλθει από την ελάττωση της αισθητής θερμότητας του αέρα.

2.4 Δεξαμενές και Δίκτυο ανακυκλοφορίας.

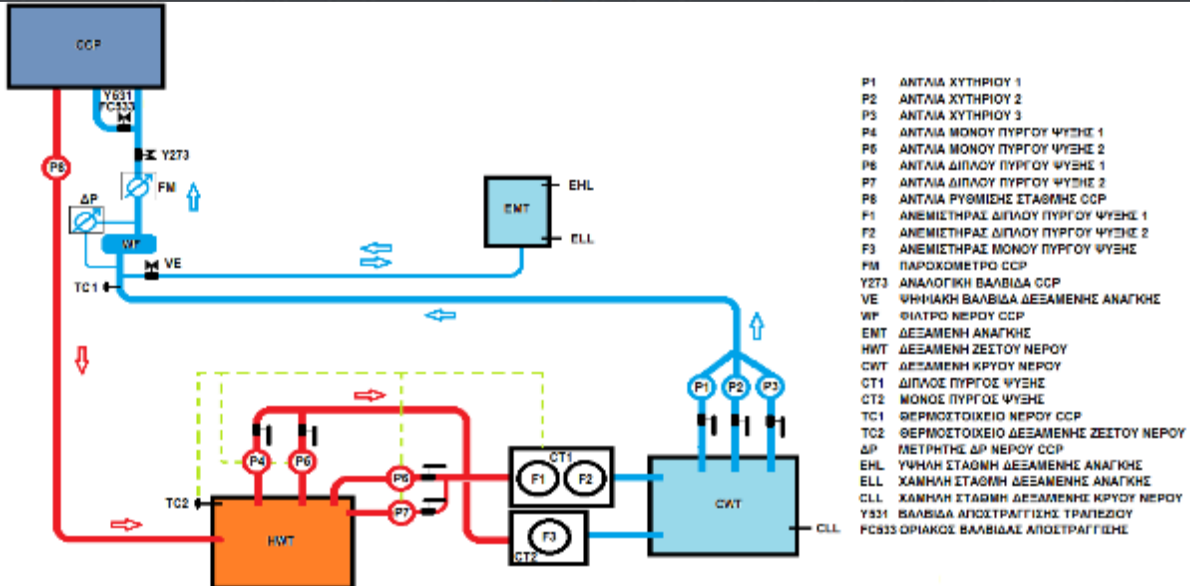
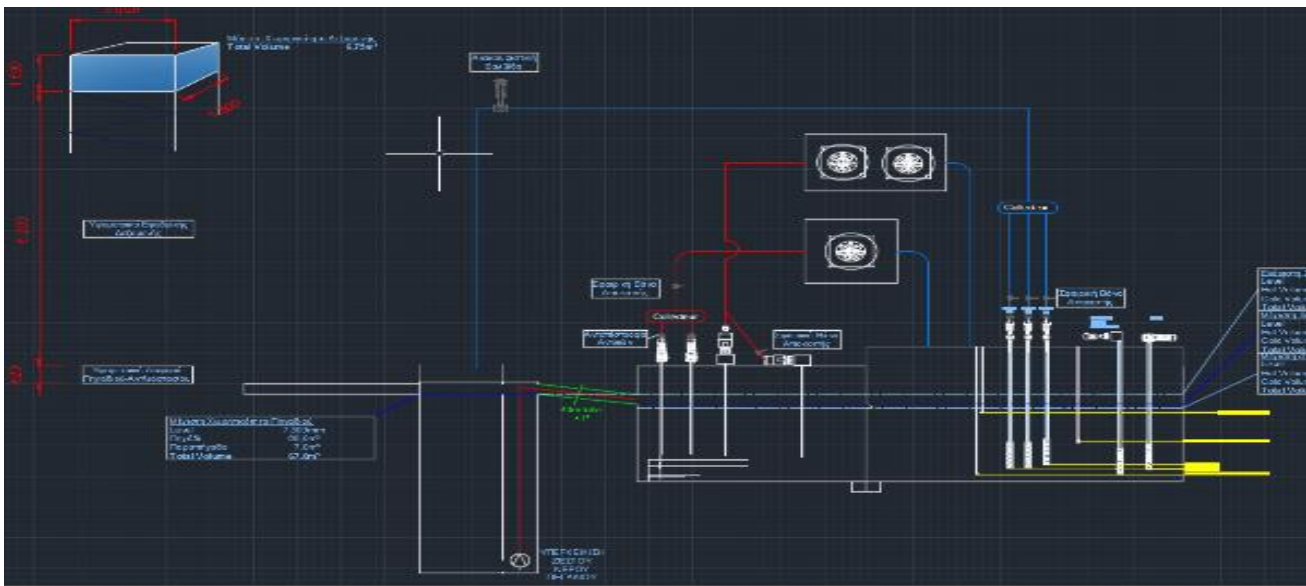
Το θερμό νερό μετά την διαδικασία της ψύξης κατά την χύτευση επιστρέφει στην δεξαμενή ζεστού νερού. Η θερμοκρασία του νερού κατά την επιστροφή κυμαίνεται μεταξύ 35°C -40°C. Η χωρητικότητα της δεξαμενής ζεστού νερού ανέρχεται στα 160m³. Διάταξη τεσσάρων αντλιών μεταφέρει το ζεστό νερό στους κατιονιστήρες των πύργων ψύξεως και από εκεί το κρύο πλέον νερό επιστρέφει στην δεξαμενή του κρύου νερού σε μέση

θερμοκρασία κατά 10°C χαμηλότερη από την θερμοκρασία εισόδου. Η χωρητικότητα της δεξαμενής ζεστού νερού ανέρχεται στα 270m³.

Όταν απαιτείται η χρήση του κρύου νερού τότε διάταξη με τρεις πομόνες μεταφέρει το κρύο νερό στα καλούπια χύτευσης μέσω διηθητικών διατάξεων προκειμένου να κατακρατηθούν αιωρούμενα σε αυτό σωματίδια.

Μετά την ψύξη του αλουμινίου το νερό καταλήγει σε υποκείμενο πηγάδι του οποίου ανεβάζει την στάθμη και έτσι με υπερχειλίση μπορεί και επιστρέφει στην δεξαμενή του ζεστού νερού. Η θερμοκρασία του νερού στο πηγάδι είναι κατά 2-3°C υψηλότερη από την θερμοκρασία στην δεξαμενή του ζεστού και η χωρητικότητα του πηγαδιού είναι 70m³.

Τέλος, πληρώνεται και διατηρείται εφεδρική δεξαμενή νερού χωρητικότητας 7m³ και θερμοκρασίας νερού στην θερμοκρασία περιβάλλοντος εκτός των ημερών με έντονη ηλιοφάνεια οπότε η θερμοκρασία ανεβαίνει κατά ~5°C υψηλότερα.



Σχ.22 : απεικόνιση συστήματος ανακυκλοφορίας νερού ψύξης

Κεφάλαιο 3 : Απαιτήσεις Νερού Ψύξης

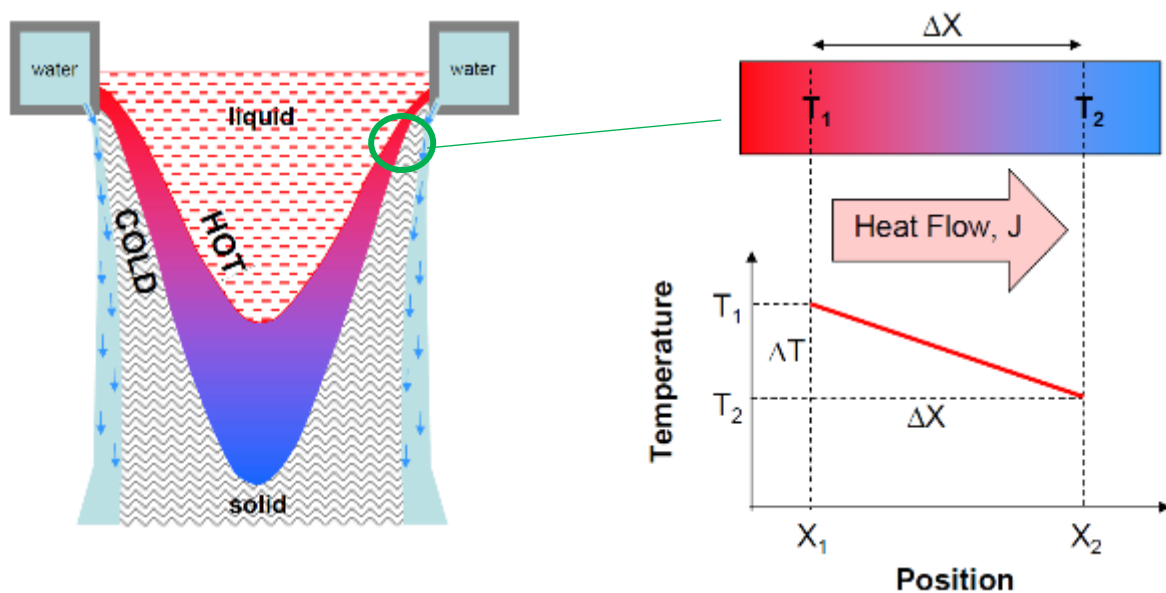
3.1 Θεμελιώδεις Αρχές Νερού Ψύξης Χυτηρίου

Η σταθερή ποιότητα και τα ομοιογενή χαρακτηριστικά του νερού ψύξης σε όλο το προφίλ είναι απαραίτητα για την υψηλή και σταθερή ποιότητα των προϊόντων χύτευσης. Μεταβολές στον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας προκαλούν αντίστοιχα μεταβολή στην αποτελεσματικότητα της ψυκτικής ικανότητας των νερών η οποία οδηγεί είτε σε παραγωγή ακατάλληλων ή σε χαμηλή ποιότητα με φτωχά και ανομοιογενή μεταλλουργικά χαρακτηριστικά.

3.1.2 Μηχανισμός Ψύξης Αλουμινίου κατά την Χύτευση

Το αλουμίνιο ερχόμενο σε επαφή με το νερό ψύξης αποβάλλει σε αυτό την θερμότητά του και στερεοποιείται. Ο μηχανισμός της ψύξης περνάει από διάφορα στάδια με πιο απαιτητικό αυτό του ξεκινήματος της διαδικασίας χύτευσης. Εκεί έχουμε να αντιμετωπίσουμε μεταβατικά φαινόμενα καθώς το σύστημα του νερού ψύξης σε θερμοκρασία 25°C και του υγρού μετάλλου σε θερμοκρασία 720 °C έρχονται σταδιακά σε ισορροπία. Μέχρι αυτό να συμβεί

- Το αλουμίνιο δέχεται έντονο ρυθμό αμέσου ψύξεως στα τοιχώματά του, οπότε συρρικνώνεται σύμφωνα με τον συντελεστή γραμμικής διαστολής του και στερεοποιείται. Η στερεοποίηση αφορά μόνο το εξωτερικό μέρος της μπιγέτας που χυτεύεται ενώ στο εσωτερικό της και για περίπου 10-15cm από την στάθμη στο καλούπι το αλουμίνιο βρίσκεται σε μορφή τήγματος (μαρέ).
- Το νερό δέχεται με έντονο ρυθμό το θερμικό φορτίο του μετάλλου και περνάει από διάφορες φάσεις αναπτύσσοντας διαφορετικούς μηχανισμούς βρασμού.

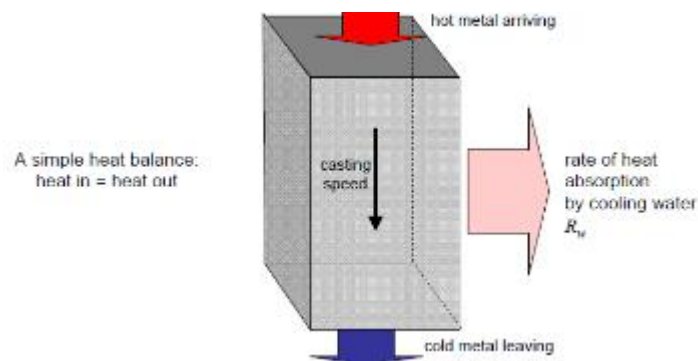


Σχ.23: ροή θερμότητας κατά την στερεοποίηση

Η μετάβαση του νερού ψύξης μέσα από τις διάφορες φάσεις μηχανισμών βρασμού παρουσιάζει σημαντική μεταβολή στην θερμική του αγωγιμότητα. Η κατάσταση αυτή χρησιμοποιείται προκειμένου να αντισταθμίσει και εξουδετερώσει την ανάπτυξη ισχυρών τάσεων που προκαλεί η άμεση στερεοποίηση του αλουμινίου με ταυτόχρονη ύπαρξη τηγμένου αλουμινίου στο κέντρο της μπιγιάτας.

3.1.2 Ισοζύγιο Θερμότητας

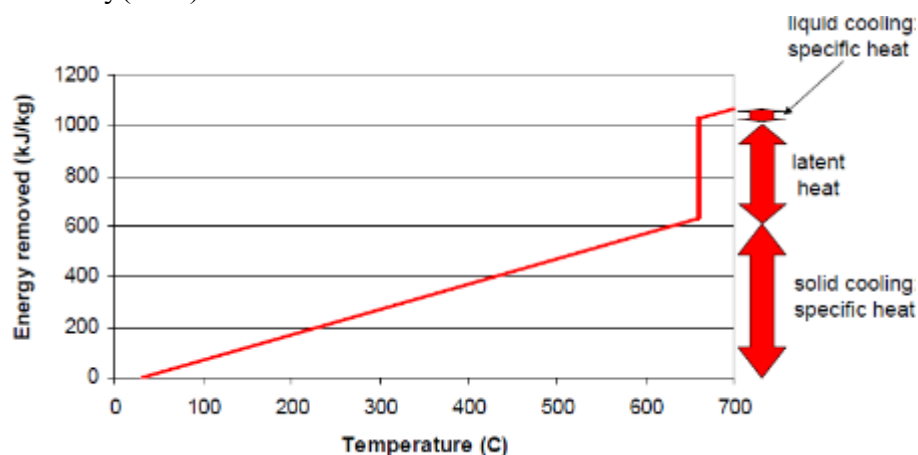
Η παροχή νερού που απαιτείται για να ψύξει το αλουμίνιο καθορίζεται από το ποσό της ενέργειας που χρειάζεται να απάγουμε και επομένως είναι απολύτως ανάλογη της θερμότητας που εισάγουμε στο σύστημα άρα και της παροχής αλουμινίου στο καλούπι.



Σχ.24: ισοζύγιο θερμότητας κατά την στερεοποίηση

Ενεργειακά για να κατεβάσουμε την θερμοκρασία του τηγμένου αλουμινίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος απαιτείται 1MJ/kg ως εξής

- 40 kJ για την ψύξη του τηγμένου μετάλλου μέχρι το σημείο τήξης του: (4%)
- 397 kJ λανθάνουσας θερμότητας της στερεοποίησης (37%)
- 630 kJ για την ψύξη του αλουμινίου από το σημείο τήξεως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (59%)



Σχ.25: απαγωγή λανθάνουσας και ειδικής θερμότητας

3.1.3 Καμπύλες Βρασμού

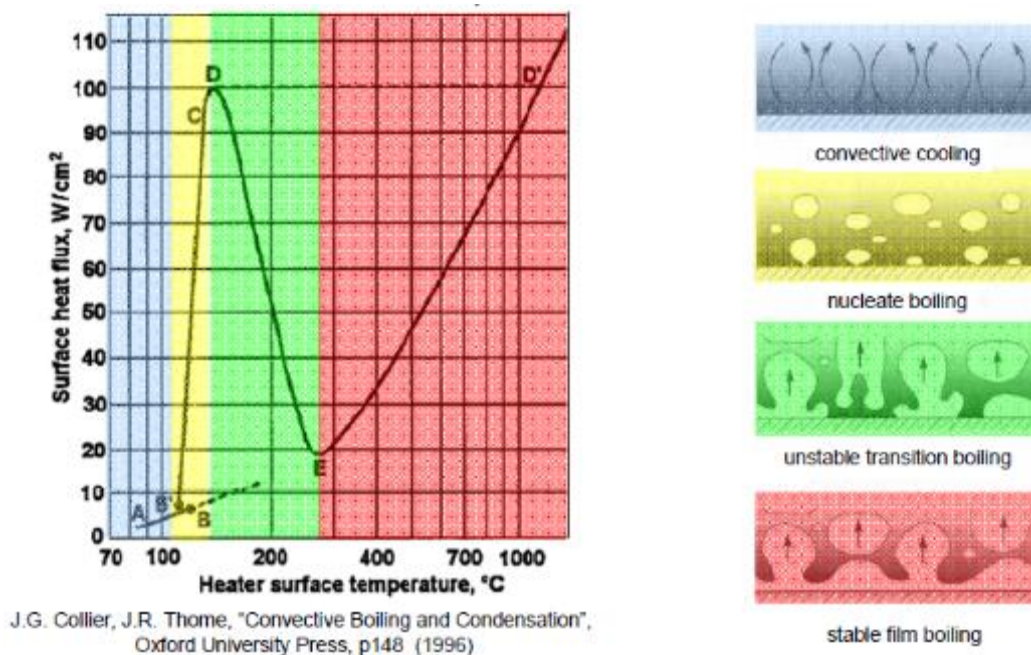
Κατά την εκκίνηση της χύτευσης το νερό έχει χαμηλή παροχή προκειμένου να μην δημιουργήσει έντονη στερεοποίηση με αποτέλεσμα ποιοτικά προβλήματα που συνήθως αφορούν ανάπτυξη τάσεων και δημιουργίας θερμών ρωγμών.

Με τον τρόπο αυτό το νερό δέχεται πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας που δεν δύναται να απάγει. Στο ξεκίνημα η παροχή είναι μικρή με αποτέλεσμα ο πρώτος ατμός που δημιουργείται πάνω στο θερμό προφίλ αλουμινίου να λειτουργεί μονωτικά ως μαξιλάρι μην επιτρέποντας στην μάζα του νερού να έρθει σε επαφή και απάγει θερμότητα. Όσο η ψύξη του νερού είναι μικρή η κατάσταση αυτή της ζώνης στρωματικής εξάτμισης παραμένει (D' → E)

Μόλις αυξηθεί η παροχή του νερού τότε αρχίζει σταδιακά να διαρρηγνύεται το film ατμού και να παρατηρούμε μία ζώνη αστάθειας (E → D)

Μετά από την περιοχή αυτή περαιτέρω αύξηση του νερού ψύξης οδηγεί σε κανονικές φυσαλίδες που χαρακτηρίζουν την ζώνη του πυρηνικού αναβρασμού όπου έχουμε υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας (D → B')

Η ζώνη της συναγωγής όπου έχουμε απορρόφησης θερμότητας με συναγωγή έρχεται στο τέλος της στερεοποίησης όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασιακές διαφορές οι οποίες οδηγούν σε χαμηλό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (B' → A)



Σχ.26: Ζώνες Βρασμού

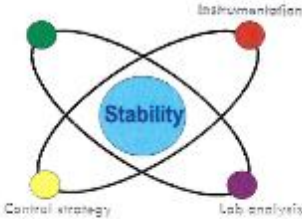
Η σταθερή ποιότητα του νερού ψύξης επαληθεύει την μετάβαση μεταξύ των ζωνών και μας οδηγεί σε σταθερές συνθήκες χύτευσης. Μεταβολές κρίσιμων χαρακτηριστικών του νερού όπως η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία επηρεάζουν τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και οδηγούν σε διαφορετική συμπεριφορά κατά την στερεοποίηση.

3.2 Χαρακτηριστικά Νερού Ψύξης Χυτηρίου

Τα χαρακτηριστικά του νερού ψύξης που μπορούμε να παρακολουθούμε και μέσω αυτών να επιβεβαιώνουμε την προδιαγραφή, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα με τα αντίστοιχα όρια

TYPICAL WATER QUALITY STANDARDS

• Cooling water temperature	25-27 °C
• Suspended solids (TSS)	10-20 ppm, d < 10 microns
• Total hardness	300-400 ppm CaCO ₃
• Residual oil	<10ppm
• Residual flocculent	0
• Alkalinity	50-100 ppm
• Conductivity	600-1200 μmhos
• Turbidity	5-15 NTU
• Iron and manganese	5 ppm
• pH	7.5-8.5
• Residual phosphate	1.5 ppm (PO ₄)
• Residual free halogen	0.5-1.5 ppm
• Total halogens	2.0-2.5 ppm
• Micro-organism	< 3000 (ATP)
• Cycles	2.4-2.7



Σχ.27: εύρος χαρακτηριστικών νερού ψύξης χυτηρίου

Η διατήρηση των χαρακτηριστικών στο παραπάνω εύρος τιμών αποτελεί πρόκληση για την μονάδα και προκειμένου να επιτευχθεί χρήζει επισταμένης διαχείρισης και επεξεργασίας του νερού.

3.3 Παράγοντες Μεταβολής Συμπεριφοράς Νερού Ψύξης Χυτηρίου

Η ποιότητα του εισερχόμενου στο σύστημα νερού δεν είναι σταθερή ενώ για την ρύθμιση της κάθε παραμέτρου προτείνονται μέθοδοι που αλληλοεπιδρούν σε κρίσιμα χαρακτηριστικά και έτσι έχουν περιορισμένη εφαρμογή.

Επιπλέον, από την παραγωγική διαδικασία της χύτευσης εισέρχονται στο σύστημα λιπαντικά χύτευσης που επιβαρύνουν την ψυκτική ικανότητα του νερού ευνοώντας την μετάβαση στην ψύξη της ζώνης πυρηνικού αναβρασμού από την ζώνη στρωματικής εξάτμισης. Όταν η μετάβαση γίνεται ανεπιθύμητα κατά το ξεκίνημα της χύτευσης γίνεται αδύνατος ο έλεγχος του ρυθμού απαγωγής θερμότητας.

Υψηλή θερμοκρασία στο νερό ψύξης μειώνει την ψυκτική του ικανότητα και απαιτείται σημαντική μεταβολή άλλων χαρακτηριστικών (αγωγιμότητας ή παροχής) ώστε να αντισταθμίσουν αυτή την μείωση.

Η υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών οδηγεί σε αύξηση της αγωγιμότητας και αύξηση της ψυκτικής ικανότητας του νερού.

Όλες οι παραπάνω μεταβολές αποσταθεροποιούν τις εύθραυστες ισορροπίες της μετάβασης από την κατάσταση εκκίνησης στην σταθερή κατάσταση και εφόσον δεν διαχειριστούν σωστά οδηγούν σε αλλαγή συνταγών προκειμένου να αντισταθμιστούν οι αλληλεπιδράσεις.

3.4 Παράγοντες Επιβάρυνσης Ανοιχτού Δικτύου Ανακυκλοφορίας Νερού

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ψυκτική συμπεριφορά του νερού συντρέχουν και στην επιβάρυνση του δικτύου για τον σχηματισμό επικαθίσεων, αποθέσεων, διαβρωτικής συμπεριφοράς και ανάπτυξης μικροβιακού φορτίου.

Η ανακυκλοφορία του νερού σε ανοιχτό δίκτυο είναι εκτεθειμένη στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην σκόνη που μεταφέρουν οι αέριες μάζες. Τόσο οι δεξαμενές όσο και το πηγάδι χύτευσης είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος ενώ παράλληλα η αναρρόφηση αέρα από τους πύργους ψύξης τροφοδοτεί το σύστημα με επιπλέον σκόνη η οποία δουλεύει απευθείας στον σχηματισμό επικαθίσεων.

Η λειτουργία σε εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 20°C -50°C δημιουργεί ζεστές περιοχές. Η ταυτόχρονη ύπαρξη οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα σε φωτεινό και ζεστό μέρος οδηγούν στον σχηματισμό μικροβιακού φορτίου.

Το νερό ανακυκλοφορεί με διαφορετικές ροές και πιέσεις.

Έτσι στον κλάδο τροφοδοσίας αναπτύσσει πίεση 5bar και έχει μεγάλη ταχύτητα κυκλοφορίας. Η συνθήκη αυτή ευνοεί την αποφυγή επικαθίσεων αλλά εντείνει την διαβρωτική συμπεριφορά. Αντίθετα, στον κλάδο των επιστροφών το νερό κυκλοφορεί με υπερχειλίση διατηρώντας χαμηλή πίεση και χαμηλή ροή ευνοώντας τις επικαθίσεις,

Οι δεξαμενές ανακυκλοφορούν το νερό μέσω των πύργων ψύξεως όμως ενδέχεται να υπάρξουν μεγάλα διαστήματα ακινητοποίησής τους κατά την διακοπή ή συντήρηση των μονάδων παραγωγής. Τότε συνυπάρχουν όλες εκείνες οι συνθήκες που κάνουν την ανάπτυξη των μικροβίων να ευδοκιμεί. Επίσης κατά τα διαστήματα αυτά το παραμένον νερό στο δίκτυο σχηματίζει μικρές λίμνες όπου είτε αποθέτει αιωρούμενα στερεά ή επιπλέον εξατμίζεται αποθέτοντας με την μορφή ιζήματος και όλα τα διαλυμένα σε αυτό στερεά.

Προκειμένου να ικανοποιηθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι απαραίτητη η διαχείριση και επεξεργασία του νερού με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρηθούν τα χαρακτηριστικά της προδιαγραφής με τρόπο που δεν δημιουργήσει ανεπιθύμητες παρενέργειες.

Κεφάλαιο 4 : Επεξεργασία Νερού

4.1 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του Νερού

Οι θεμελιώδεις γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού αποτελούν βασική προϋπόθεση για την ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείρισή του.

Με βάση τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά προσδιορίζεται ο βαθμός, τα στάδια και οι μέθοδοι επεξεργασίας του όταν αυτό προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το ίδιο ισχύει και για τα υγρά απόβλητα. Με βάση την ποιότητά τους προσδιορίζεται ο τρόπος επεξεργασίας τους για την επίτευξη των στόχων της επεξεργασμένης εκροής, την προστασία της ποιότητας των νερών των φυσικών αποδεκτών και της δημόσιας υγείας.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μπορούν να διακριθούν σε φυσικοχημικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά. Μπορούν επιπλέον να ταξινομηθούν σε αυτά που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία ή την αισθητική, ενώ για περισσότερο εξειδικευμένους σκοπούς μπορούν να διαχωριστούν σε πολλές υποομάδες.

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Βιοχημικά χαρακτηριστικά	Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά
Θερμοκρασία Οξύτητα - Αλκαλικότητα Αγωγιμότητα - Αλατότητα Άλατα – Σκληρότητα Θολότητα Οσμή Χρώμα Στερεές ουσίες Κατιόντα (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺) Ανιόντα (NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻) Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si) Ιχνοστοιχεία / μέταλλα	Διαλυμένο οξυγόνο (DO) Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	Ιοί Βακτήρια Μύκητες Φύκια Πρωτόζωα Έλμινθες (σκουλήκια) Μαλακόστρακα

Σχ.28: Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού

και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα όρια εκπομπής που αναγράφονται στο νέο ΦΕΚ Ασωπού (ΦΕΚ 749 Β', 31/05/2010) και της τροποποίησής του (ΦΕΚ 135 Β', 22/01/2015).

Είδος ανάλυσης	Μέθοδος Ανάλυσης	Επιτρεπτά όρια εκπομπών των βιομηχανικών απορροών	Μονάδες μέτρησης
		Νέο ΦΕΚ Ασωπού + τροποποίηση του	
pH*	ΑΡΗΑ ⁽¹⁾ 4500-Η ⁺ Β, ΑΡΗΑ 2550 Β	6,5-8,5	---
Αγωγιμότητα*	ΑΡΗΑ 2510 Β	δ.α.	μS/cm
Αιωρούμενα στερεά ολικά (TSS)*	ΑΡΗΑ 2540 D	25	mg/l
Ολικά διαλελυμένα στερεά (TDS)*	ΑΡΗΑ 2540 C	1500	mg/l
Ορυκτέλαια – Υδρογονάνθρακες*	Υπολογιστικά από την τιμή των Λιπών - Ελαίων	10	mg/l
Αργίλιο (Al)*	ΕΛΟΤ EN ISO 11885: 2009 (2 ^η έκδοση) ΕΛΟΤ EN ISO 15587.01: 2002 (χώνευση 100ml δείγματος με 30ml βασιλικού νερού)	2,5	mg/l
Χαλκός (Cu)*		0,2	mg/l
Μαγγάνιο (Mn)*		1	mg/l
Ψευδάργυρος (Zn)*		2	mg/l
Ασβέστιο (Ca)		δ.α.	mg/l
Σίδηρος (Fe _{0,45μm})	ΕΛΟΤ EN ISO 15587.01: 2002 (χώνευση 25ml διηθημένου δείγματος με 8ml βασιλικού νερού)	1	mg/l
Νικέλιο διαλυτό (Ni _{0,45μm})		0,2	mg/l
Μόλυβδος διαλυτός (Pb _{0,45μm})	Pb EPA 7421 (GFAAS)	0,1	mg/l
Χρώμιο ολικό (Cr)*	Cr EPA 7191 (GFAAS)	0,2	mg/l
COD	KIT MERCK analogous to ΑΡΗΑ 5220D	125	mg/l
BOD ₅	EN 1899-2: 1998	25	mg/l
Χλωριόντα (Cl ⁻)	KIT MERCK analogous to ΑΡΗΑ 4500-Cl ⁻ E	500	mg/l
Διαλυμένο οξυγόνο (D.O.)	KIT MERCK analogous to EN 25813 G21	>4	mg/l
Ανθρακικά (CO ₃)	KIT MERCK analogous to ΑΡΗΑ 2320 Β	δ.α.	mg/l CaCO ₃
Όξινα ανθρακικά (HCO ₃)	KIT MERCK analogous to ΑΡΗΑ 2320 Β	δ.α.	mg/l CaCO ₃

(1) APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Ed., 2012

Σχ.29: όρια νερού απόρριψης / νέο ΦΕΚ Ασωπού

Η επεξεργασία του νερού με φυσικές μεθόδους δεν έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποδοτική. Αρχικά η επεξεργασία του νερού αφορούσε την απομάστευση των πρόσθετων που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία παραγωγής και τα οποία καταλήγουν να συγκεντρώνονται στο νερό ψύξης.

Στην παραγωγική διαδικασία της χύτευσης το πρόσθετο λιπαντικό που χρησιμοποιείται στα καλούπια καταλήγει στο πηγάδι συλλογής του νερού ψύξης και από εκεί ακολουθεί όλη την πορεία ανακυκλοφορίας του εντός του δικτύου. Επειδή το λιπαντικό δεν εξατμίζεται παραμένει μέσα στο νερό και αυξάνει την συγκέντρωσή του αφενός αλλοιώνοντας την σύσταση του νερού και συνεπώς των ιδιοτήτων του αφετέρου αποτελεί ουσία που προσκολλάται σε όλα τα μέρη του συστήματος και ειδικά αυτά του πύργου ψύξης και σχηματίζει πόλους πάνω στους οποίους αναπτύσσονται νέες επικαθήσεις και μικροοργανισμοί.

Επιπλέον, τα ιζήματα που βρίσκονται διαλυμένα ή αδιάλυτα στο νερό δυσχεραίνουν την ροή του μέσα από εξαρτήματα ή μέρη του δικτύου όπου αυξάνεται η πίεση, όπως οι κατιονιστήρες. Επίσης γίνονται η αιτία διάβρωσης των σωληνώσεων ειδικά σε σημεία κάμψης της ροής και χημικής διάβρωσης στους κλάδους χαμηλής ταχύτητας όπου ευνοούνται οι επικαθήσεις.

Η αντιμετώπιση των συγκεκριμένων προβλημάτων περιοριζόταν στην χρήση διηθητικών φίλτρων για την κατακράτηση των στερεών αιωρούμενων σωματιδίων και κατάλληλων skimmer που τοποθετούνταν στην επιφάνεια των δεξαμενών για να συλλέγουν το λάδι που λόγω φυσικού διαχωρισμού επέπλεε στην επιφάνεια.



Σχ. 30: *sump skimmer* απορροφητικό λεκάνης αποστράγγισης

Παρ' όλα αυτά η συμβατική αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών δημιουργεί περιορισμούς στην λειτουργία του συστήματος.

Αναφορικά με το φίλτρο, μικρή τρύπα στις σήτες κατακράτησης σωματιδίων είναι πιο αποτελεσματική αλλά χτίζει πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να έχουμε την σταδιακή απόφραξη σε εκείνα τα σημεία.

Επίσης, ενώ τα skimmer είναι αποτελεσματικά στη απορρόφηση λιπαντικών, πετρελαίου ή γενικά πετρελαιοειδών χρειάζονται στάσιμα νερά ώστε να επιτυγχάνεται ο φυσικός διαχωρισμός που θα φέρνει τα υγρά αυτά στην επιφάνεια. Η συνεχής ανακυκλοφορία του νερού ψύξης δεν δίνει αυτήν την δυνατότητα καθώς τα αναμιγνύει με ακανόνιστο τρόπο.

Έτσι είναι αναπόφευκτο να κρατηθούν έξω από τους πύργους ψύξης και να προφυλαχτεί έτσι η μονάδα από την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

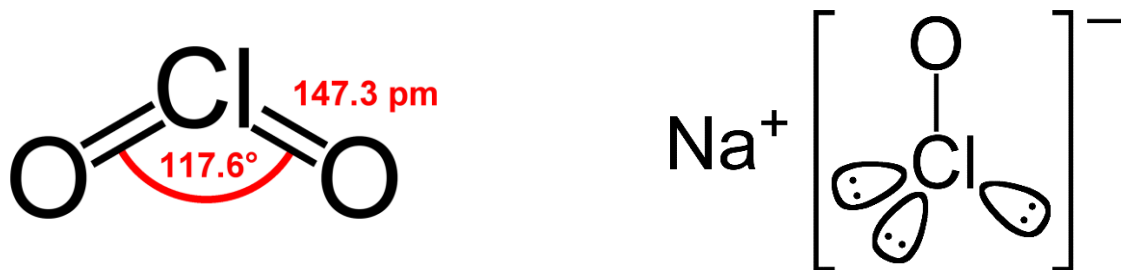
Η εφαρμογή ενός μελετημένου συστήματος που θα διαχειρίζεται συνολικά το πρόβλημα είναι απαραίτητο προκειμένου να διασφαλισθεί η αποδοτικότητα της μονάδας παρέχοντας ασφάλεια κατά την λειτουργία.

4.2 Χημικές Ενώσεις – Πρόσθετα εξουδετέρωσης

Βιοκτόνος ενεργοποιητής χλωρίου

Η μικροβιολογική ανάπτυξη βακτηριδίων, η ανάπτυξη άλγης σε μορφή ομάδων φωτοσυνθετικών οργανισμών καθώς και των μυκήτων μέσα από αυτήν στα δίκτυα του νερού ψύξης οδηγεί σε προβλήματα τα οποία μπορούν να περιοριστούν με την χρήση διοξειδίου του χλωρίου (ClO_2) ή διαλύματος υποχλωριώδους Νατρίου (NaOCl) ως βιοκτόνα.

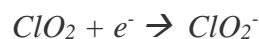
Το διοξείδιο του χλωρίου αποτελεί έναν ισχυρό και χρήσιμο οξειδωτικό παράγοντα που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού και στην λεύκανση. Ομοίως το Υποχλωριώδες Νάτριο είναι γνωστό ως υγρό λευκαντικό και χρησιμοποιείται συνήθως ως απολυμαντικό ή ως μέσο λεύκανσης. Παρά την παρόμοια δράση τους οι δύο ενώσεις είναι πρακτικά και χημικά διακριτές μεταξύ τους.



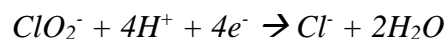
Σχ. 31: χημικός δεσμός διοξειδίου του χλωρίου και υποχλωριώδους νατρίου

Το διοξείδιο του χλωρίου σαν οξειδωτικό εμφανίζεται ιδιαίτερα επιλεκτικό. Η ικανότητά του αυτή οφείλεται στο μηχανισμό της ανταλλαγής του ενός ηλεκτρονίου. Το διοξείδιο του χλωρίου επιτίθεται στο πλούσιο σε ηλεκτρόνια κέντρο των οργανικών μορίων και αφού δεσμεύσει ένα ηλεκτρόνιο ανάγεται σε χλωρίτες (ClO_2^-).

Αρχικά το διοξείδιο του χλωρίου δεσμεύει ένα ηλεκτρόνιο και ανάγεται σε χλωρίτες



Στην συνέχεια τα ιόντα των χλωριτών οξειδώνονται προς χλωριούχα ιόντα



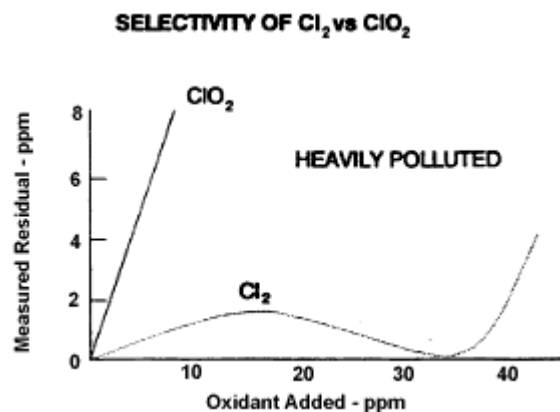
Συνολικά κατά την διάρκεια της αντίδρασης το διοξείδιο του χλωρίου θα δεσμεύσει $5e^-$. Το άτομο του χλωρίου παραμένει μέχρις ότου σχηματισθεί σταθερό χλωρίδιο. Αυτό εξηγεί τον λόγο που δεν ευνοείται ο σχηματισμός χλωριωμένων ουσιών. Όταν το χλώριο αντιδρά δεν δέχεται μόνο τα ηλεκτρόνια. Λαμβάνει επίσης μέρος σε αντιδράσεις προσθήκης και υποκατάστασης. Κατά τη διάρκεια αυτών των αντιδράσεων, ένα ή περισσότερα άτομα χλωρίου προστίθενται στην ξένη ουσία.

Σε ουδέτερο pH ή σε υψηλές τιμές pH, το θειικό οξύ (H_2SO_3) αντιδρά με το διοξείδιο του χλωρίου προς χλωριώδη ιόντα (ClO_2^-). Αντίθετα, κάτω από συνθήκες αλκαλικού περιβάλλοντος το διοξείδιο του χλωρίου ανάγεται σε χλωρίτη και χλωρικά ιόντα (ClO_3^-):

$$2ClO_2 + 2OH^- = H_2O + ClO_3^- + ClO_2^-$$

Αυτή η αντίδραση καταλύεται από ιόντα υδρογόνου (H^+). Ο χρόνος ημίσειας ζωής των υδατικών διαλυμάτων διοξειδίου του χλωρίου μειώνεται με την αύξηση των τιμών του pH. Σε χαμηλό pH, το διοξείδιο του χλωρίου ανάγεται σε ιόντα χλωρίου (Cl^-).

Ίσως η πιο σημαντική του ιδιότητα είναι η υψηλή του διαλυτότητα ειδικά στο κρύο νερό η οποία φτάνει να είναι μέχρι 10 φορές μεγαλύτερη από την διαλυτότητα της χλωρίνης. Κατά την ανάμιξή του με το νερό δεν υδρολύεται αλλά παραμένει διαλυμένο σε αέρια μορφή



Σχ.32: δραστηριότητα ClO_2 vs Cl_2

Η απολυμαντική του δράση ενεργοποιείται μέσω της προκαλούμενης οξείδωσης. Αποτελεί το μοναδικό βιοκτόνο που είναι ελεύθερο ριζών. Έχει 19 ηλεκτρόνια και δείχνει προτίμηση για ουσίες που προσφέρουν ή δεσμεύουν ένα ηλεκτρόνιο. Το διοξείδιο του χλωρίου αντιδρά μόνο με ουσίες που προσφέρουν ένα ηλεκτρόνιο. Τέλος, έχει το πλεονέκτημα ότι είναι αποτελεσματικό σε ένα pH μεταξύ 5 και 10 και ότι δεν απαιτούνται οξέα για τη ρύθμισή του.

Το υποχλωριώδες νάτριο λόγω της παρουσίας της καυστικής σόδας αυξάνει το pH του νερού. Κατά την διάλυσή του στο νερό παράγονται δύο ουσίες το υποχλωριώδες οξύ ($HOCl$) και το λιγότερο δραστικό ιόν υποχλωριώδους (OCl^-). Το pH του νερού καθορίζει το ποσό του υποχλωριώδους οξέος που θα σχηματιστεί. Προκειμένου λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε υποχλωριώδες νάτριο είναι μάλλον αναγκαίο να το κάνουμε με παράλληλη χρήση υδροχλωρικού οξέος (HCl) ώστε να αντισταθμίσουμε την αύξηση του pH ενώ εναλλακτικά θα

μπορούσε να χρησιμοποιηθεί θειϊκό οξύ (H₂SO₄). Το θειϊκό οξύ είναι ένα ισχυρό οξύ που αντιδρά έντονα με βάσεις και είναι εξαιρετικά διαβρωτικό καθώς και παράγονται κατά την χρήση του τα λιγότερο επιβλαβή αέρια.

Με την προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου στο νερό παράγεται υποχλωριώδες οξύ (HOCl)
 $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{NaOH}^-$

Το υποχλωριώδες οξύ στην συνέχεια χωρίζεται σε υδροχλωρικό οξύ (HCl) και οξυγόνο (O). Το άτομο οξυγόνου είναι πολύ ισχυρά οξειδωτικό.

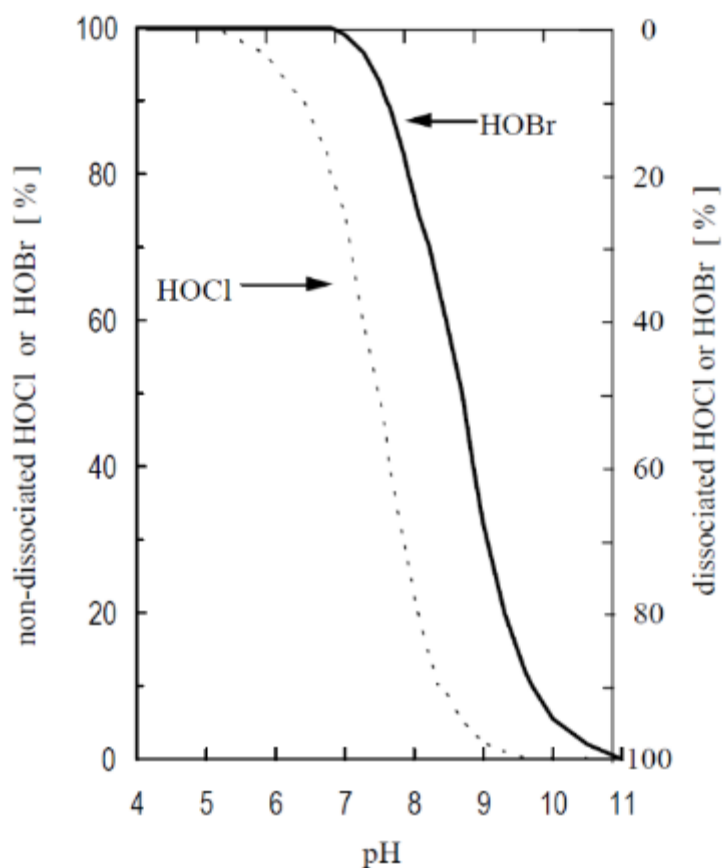
Αποτελεί μία επικίνδυνη και εξαιρετικά διαβρωτική ένωση. Σε αντίθεση με το διοξείδιο του χλωρίου δεν είναι αποτελεσματικό στην καταπολέμηση των παράσιτων Giardia Lambia και Cryptosporidium

Βιοκτόνος Οργανικού Βρωμίου

Τα βιοκτόνα βάσεως Cl είναι αποδοτικά μόνο κατά την πρόσθεσή τους σε όξινα διαλύματα. Αντίθετα σε διαλύματα με pH > 7,5 ενδείκνυται η χρήση Υποβρωμιώδους Οξέως (HOBr) Η δραστηριότητά του οφείλεται στο ένα και μοναδικό ηλεκτρόνιο που του λείπει προκειμένου να συμπληρώσει την εξωτερική του στοιβάδα με 8e⁻. Η αναζήτηση αυτού του ηλεκτρονίου χαρακτηρίζει την ισχυρά οξειδωτική του συμπεριφορά. Εξάλλου η κατηγορία των αλογόνων, όπως και το χλώριο, στην οποία ανήκει χαρακτηρίζεται από αυτή την συμπεριφορά. Το βρώμιο στην φύση συναντάται σε ενώσεις που ονομάζονται βρωμίδια και από τα οποία παράγονται τα προϊόντα βρωμίου. Μετά το φθόριο, το βρώμιο εμφανίζεται το αμέσως πιο αντιδραστικό στοιχείο. Αποτελεί το μοναδικό μη-μεταλλικό στοιχείο το οποίο σε κανονικές συνθήκες είναι υγρό. Είναι κατά 3,12 φορές πιο βαρύ από το νερό, μετατρέπεται σε αέρια φάση σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 58,8 °C και στην στερεά σε θερμοκρασίες μικρότερες των - 7,3°C.

Σε διαλύματα με 7.0 <pH <8.5 το βρώμιο συναντάται πιο συχνά ως διβρωμοαμίνη. Η διβρωμοαμίνη είναι το ίδιο αποτελεσματική με το χλώριο στην εξουδετέρωση μικροοργανισμών και την απολύμανση. Η διβρωμοαμίνη είναι εξαιρετικά δραστική και συνήθως διασπάται ταχέως σε ιόντα Βρωμίου όταν το pH >8.7 και σε υποβρωμιώδες οξύ όταν το pH <8,7. Εξαιτίας αυτής της αντίδρασης δεν παραμένουν κατάλοιπα Βρωμίου στο νερό.

Το πλεονέκτημα του Βρωμίου είναι ότι διαλύεται τρεις φορές περισσότερο στο νερό απ' ότι το Χλώριο. Η δράση του στο νερό είναι μικρή καθώς δεν δεσμεύεται ισχυρά με αυτό.



Σχ. 33: διαχωρισμός $HOCl$ και $HOBr$ στο νερό ανάλογα με το pH του διαλύματος

Αντιαποθετικό

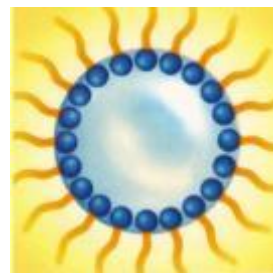
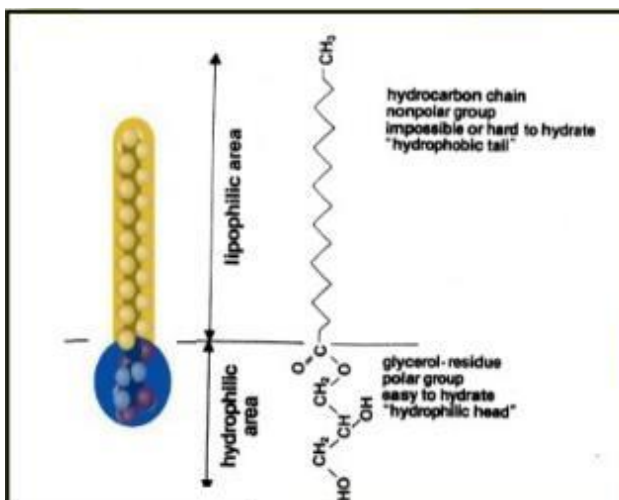
Εμποδίζει το σχηματισμό των κρυστάλλων προερχόμενος από τη σκληρότητα του νερού (Threshold Effect). Αναστολείς κατωφλίου (Threshold Inhibitors) είναι εκείνες οι χημικές ενώσεις που όταν βρίσκονται σε υπο-στοιχειομετρική ποσότητα (ποσότητα κατωφλίου) αναστέλλουν την κατακρήμιση των συστατικών σκληρότητας των υπέρκορων διαλυμάτων. Η ποσότητα αυτή λειτουργικά δεν είναι εξαρτώμενη από την δράση διττανθρακικών (HCO_3^-). Τα αντιαποθετικά δεν μπορούν στην πραγματικότητα να αποτρέψουν την κατακρήμιση του ανθρακικού ασβεστίου. Μπορούν όμως να το κρατήσουν αιωρούμενο για πολύ περισσότερο χρόνο αναστέλλοντας την φυσιολογική του λειτουργία. Η διαδικασία αυτή δεν περιλαμβάνει τον σχηματισμό δεσμού ή αντίδρασης μεταξύ αντιαποθετικού και αιωρούμενων σωματιδίων. Η δράση του αντιαποθετικού εξηγείται από τις διαδικασίες χημειο(προς)ρόφησης στην επιφάνεια των κρυστάλλων. Η χημειορόφηση (chemisorption) προκύπτει από την ενοποιημένη προσέγγιση της προσρόφησης (adsorption) και της ιονανταλλαγής (ion exchange) καθώς μελετάται η μεταφορά και η προκύπτουσα ισορροπία μεταξύ μιας ρευστής και μιας στερεής φάσης. Η επίδραση καθυστερεί την ανάπτυξη του τυπικού πλέγματος ασβεστίτη μειώνοντας έτσι την τάση απόθεσής του. Καθώς ο ασβεστίτης διαχωρίζεται κάτω από ειδικές συνθήκες υπέρκορου διαλύματος, οι μικροί και άμορφοι κρύσταλλοι δεν μπορούν να δημιουργήσουν αποθετικό στρώμα και εύκολα απομακρύνονται με την διαδικασία της στρατσώνας.

Πέρα από το όριο σταθεροποίησης δημιουργείται ένα άμορφο ίζημα το οποίο είναι διασπειρόμενο και δεν σχηματίζει σκληρές επικαθίσεις. Μπορεί να αφαιρεθεί από το σύστημα ψύξης με συμβατικούς και εύκολους τρόπους καθαρισμού.

Αναστέλλει την διάβρωση του χάλυβα με τον σχηματισμό προστατευτικού στρώματος σαν αποτέλεσμα της επίδρασης φωσφονικών οξέων. Ομοίως αναστέλλει την διάβρωση του χαλκού και των κραμάτων του με τη διαμόρφωση προστατευτικά στρώματα. Δευτερογενής αναστολή της διάβρωσης επιτυγχάνεται από τις υψηλές ιδιότητες διασποράς των φωσφονικών και πολυκαρβοξυλικών οξέων (πρόληψη των αποθέσεων και ακαθαρσιών στην επιφάνεια των μεταλλικών μερών του συστήματος).

Γαλακτωματοποιητές

Κατά την ισχυρή ανάδευση νερού με κάποιο λιπαντικό συμβαίνει διάχυση μορίων λαδιού στα μόρια νερού και αντίστροφα σχηματίζοντας γαλάκτωμα. Με την παύση της ανάδευσης τα δύο συστατικά τείνουν να διαχωριστούν οπότε και τελικά το επιτυγχάνουν μετά από την έλευση του απαιτούμενου χρόνου. Παρόλα αυτά η επίδραση γαλακτωματοποιητή στο σύστημα επιτυγχάνει την παραμονή της διάχυσης και την σταθεροποίηση του γαλακτώματος. Ο γαλακτωματοποιητής αποτελείται από μία υδρόφιλο κεφαλή (-OH, -COOH) και μία ελαιόφιλο ουρά (R: C_nH_{2n+1}). Η υδρόφιλος κεφαλή συνδέεται με την υδαρή φάση και η ελαιόφιλος ουρά με την ελαιώδη φάση.



Σύνδεση Υδρόφιλης Κεφαλής με τη Υδαρή φάση.



Σύνδεση Ελαιόφιλης Κεφαλής με τη Ελαιόφιλη φάση.

Σχ.34: Δομή Μορίου Γαλακτωματοποιητή

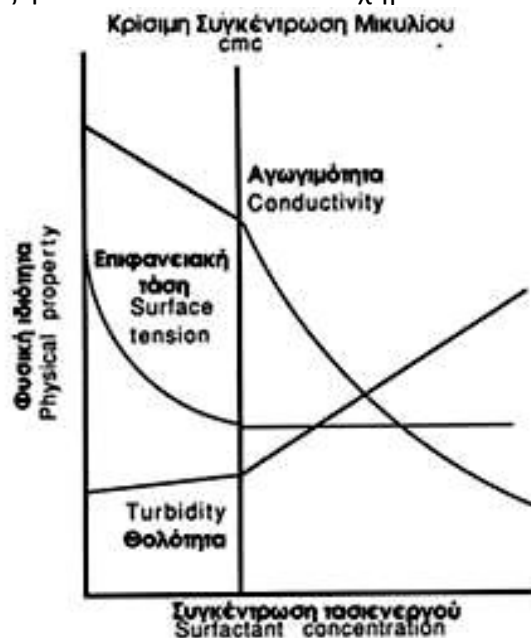
Τελικά, πρόκειται για πρόσθετα που χάριν στην μοριακή τους δομή μειώνουν την επιφανειακή τάση στην διεπιφάνεια των μορίων δύο αδιάλυτων μεταξύ τους φάσεων, επιτρέποντάς τους να αναμιγνύονται και να σχηματίζουν γαλάκτωμα. Οι γαλακτωματοποιητές ανήκουν στην κατηγορία των προσθέτων με την γενική ονομασία Τασιενεργά.

Σε χαμηλές συγκεντρώσεις τα διαλύματα των τασιενεργών ενώσεων εμφανίζουν την συνήθη συμπεριφορά όσο αφορά την μεταβολή διαφόρων ιδιοτήτων με την συγκέντρωση. Μετά από μια κρίσιμη συγκέντρωση παρατηρούνται αποκλίσεις από την φυσιολογική συμπεριφορά λόγω σχηματισμού συσσωμάτων, γνωστών ως μικκυλίων. Η συγκέντρωση πάνω από την οποία παρατηρείται ο σχηματισμός μικκυλίων ονομάζεται κρίσιμη συγκέντρωση σχηματισμού μικκυλίων (cmc).

Ο σχηματισμός μικκυλίων επηρεάζει την αγωγιμότητα των ιονικών τασιενεργών διαλυμάτων για 3 λόγους:

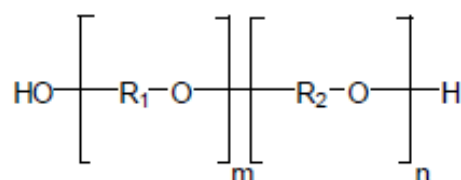
- α) Η συνολική ιξώδης επίδραση στα τασιενεργά μόρια ελαττώνεται με την συσσωμάτωση
- β) Μειώνεται ο αριθμός των ιόντων αντίθετου φορτίου
- γ) Η συσσωμάτωση αυξάνει την επιβραδυντική δράση των ιονικών ατμοσφαιρών των ιόντων

αντίθετου φορτίου που δεν είναι προσδεμένα στην μετακίνηση των τασιενεργών ιόντων. Τελικά επικρατούν οι τελευταίοι 2 παράγοντες και έτσι η ειδική αγωγιμότητα μεταβάλλεται με την συγκέντρωση όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχ.35: Μεταβολή των Ιδιοτήτων με την συγκέντρωση της τασιενεργής ουσίας

Η βάση των μη-ιοντικών διασπαρτικών αποτελείται κυρίως πολυαλκυλενογλυκόλες και πολυακρυλαμίδια χαμηλού αφρισμού. Η τάση του διασπαρτικού βοηθάει και στην αναχαιτίση αποθετικής συμπεριφοράς.



Σχ.36: μη-ιοντική πολύ-αλκυλενογλυκόλη

4.3 Καθορισμός Πρόσθετων Επεξεργασίας Νερού

4.3.1 Αξιολόγηση βάσει απαιτήσεων Συστήματος Ψύξης

Η αξιολόγηση των προβλημάτων του συστήματος ψύξης, οι περιορισμοί που προκύπτουν από τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του νερού για την ψύξη των χυτευόμενων προϊόντων αλλά και οι δυνατότητες γενικότερης διαχείρισης των νερών υποδεικνύουν την χρήση των κατάλληλων προσθέτων.

Το σύστημα ψύξης εμφανίζεται να έχει κυρίως τα παρακάτω προβλήματα,

Απόθεσης οργανικών αλάτων, ειδικά στις θερμότερες περιοχές του κυκλώματος.

Συσώρευσης οργανικού και ανόργανου υπολείμματος που μολύνει το σύστημα και προκαλείται τόσο από τα πρόσθετα λιπαντικά χύτευσης όσο και από την σκόνη που εισέρχεται στο σύστημα τόσο στα ανοιχτά σημεία του όσο και στον αέρα εισαγωγής για αντιρροή στον ΠΨ.

Ανάπτυξη Μικροβιολογικού Φορτίου, λόγω ανάπτυξης υδρόφιλων μικροοργανισμών.

Χημική διάβρωση, συνδυασμένη με μηχανική φθορά στις περιοχές υψηλής ταχύτητας κυκλοφορίας του νερού και μικροδιάβρωσης στις περιοχές με απόθεση λάσπης.

Τα πρόσθετα που προτείνονται για την αντιμετώπιση των παραπάνω είναι

Μικροβιοκτόνο (Biocide)

– προστασία του κυκλώματος από ανάπτυξη μικροοργανισμών

πολύ ισχυρό μικροβιοκτόνο, βάσεως οργανικού βρωμίου, εξειδικευμένο για μικροβιακό φορτίο που αναπτύσσεται σε πύργους ψύξης. Δρα εξαιρετικά γρήγορα μέσα στο νερό σε shock απολυμάνσεις.

Αντιαποθετικό (InOrganic Dispersant)

– προστασία από τις αποθέσεις αλάτων

μίγμα ανόργανων πολυμερών που αποτρέπει ταχύτατα τον σχηματισμό κρυσταλλικών αλάτων με την δημιουργία ευδιάλυτων σύμπλοκων που αποβάλλονται εύκολα με τον στρατσωνισμό. Σταθεροποιεί την σκληρότητα του νερού (φαινόμενο Threshold) και είναι εξαιρετικό ως διασπορέας ανόργανων ουσιών.

Γαλακτωματοποιητής (Organic Dispersant)

– απομάκρυνση λιπαντικών

Μη-ιοντικό Οργανικό διασπαρτικό (γαλακτωματοποιητής) για την διάλυση ηλεκτρικά ουδέτερων οργανικών σωματιδίων.

Βοηθάει την διάλυση των λιπαντικών πρόσθετων στο λάδι αποτρέποντας οποιαδήποτε αποθετική συμπεριφορά ή τάση προσκόλλησης στα τοιχώματα. Η συγκέντρωση του διαλυμένου λιπαντικού ελέγχεται από την αναγκαία ανανέωση του νερού.

Αντιδιαβρωτικό (Corrosion Inhibitor)

– προστασία από την διάβρωση

περιέχει ψευδάργυρο και φωσφορικά, με σκοπό την επίτευξη καθοδικής και ανοδικής προστασίας. Συνήθως ο Zn είναι υπό μορφή $ZnCl_2$ καθώς προέρχεται έπειτα από διάλυση με HCl.

4.3.2 Περιορισμοί λόγω επίδρασης στην ψυκτική ικανότητα του νερού

Η εύθραυστη ισορροπία εισερχόμενης θερμότητας μετάλλου και απαγόμενης από τα νερά ψύξης απαιτεί σταθερή Ποιότητα νερού προκειμένου να ακολουθεί σταθερές συνθήκες και η διαδικασία παραγωγής να χαρακτηρίζεται από επαναλλειψιμότητα, έτσι να θεωρείται συνεπής και σταθερή διαδικασία.

Τα χημικά πρόσθετα -ανάλογα με την ποσότητα που συγκεντρώνεται από αυτά μέσα στα διαλύματα- αλληλοεπιδρούν επηρεάζοντας άλλοτε ενισχυτικά και άλλοτε αποδυναμωτικά την αγωγιμότητα του νερού διαμορφώνοντας αντίστοιχα την ψυκτική του ικανότητα.

Είναι λοιπόν αναγκαίο πριν από κάθε εισαγωγή τέτοιου πρόσθετου σε βιομηχανική κλίμακα να προηγηθεί αντίστοιχη εργαστηριακή που να εμφανίσει την επίδραση των προσθέτων.

4.3.3 Περιορισμοί στην διαχείριση των νερών απόρριψης από την στρατσώνα.

Τα χημικά πρόσθετα επιλέχθηκαν ώστε να μην είναι επιβλαβή κατά την απόρριψή τους στο Περιβάλλον στην διαδικασία της στρατσώνας. Η ποσότητα προσθήκης τους είναι εξίσου σημαντική για τον βαθμό επιρροής των βασικών χαρακτηριστικών του νερού. Στο νερό απόρριψης ισχύουν μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων που πρέπει να τηρούνται. Επιπλέον της κατάλληλης λοιπόν επιλογής του πρόσθετου θα πρέπει να υπάρχει και εγκατάσταση επεξεργασίας του νερού στρατσώνας που να περιλαμβάνει φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Κεφάλαιο 5 : Σχεδιασμός Πειραματικής Διαδικασίας

Ο σχεδιασμός πειραματικών μεθόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στην ανάπτυξη διαδικασιών ή στην αντιμετώπιση προβλημάτων που θα οδηγήσουν στην βελτιστοποίησή της ώστε να επιτευχθεί μία ανθεκτική διαδικασία που θα είναι αδρανής σε εξωτερικές πηγές μεταβλητότητας. Στην πραγματικότητα όλες οι διεργασίες στατιστικού ελέγχου (SPC) έχουν παθητικό χαρακτήρα αφού καταγράφουν το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας αξιολογώντας εάν αυτή βρίσκεται μέσα στα όρια.

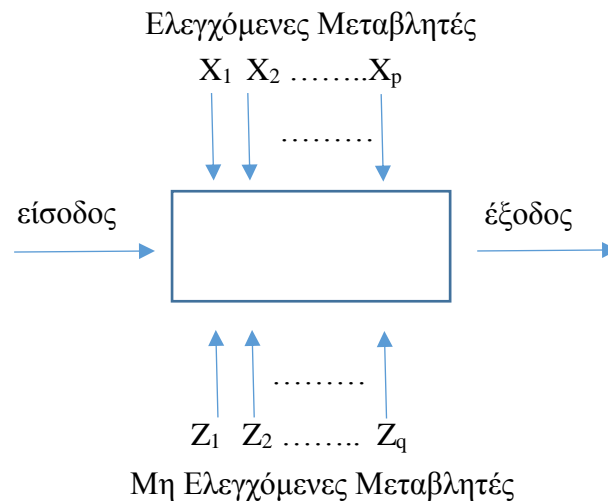
Συμβαίνει όμως συχνά να έχουμε διαδικασίες που να κινούνται εντός ορίων αλλά να παρουσιάζουν χαμηλή επίδοση. Ο ενεργητικός χαρακτήρας του σχεδιασμού της πειραματικής διαδικασίας προκειμένου να αυξήσει την απόδοση θα οδηγηθεί στην μείωση της μεταβλητότητας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από μια σειρά πειραμάτων όπου διαφοροποιώντας κάθε φορά την είσοδο παρατηρούμε τις προκαλούμενες αλλαγές στην έξοδο και έτσι αντλούμε χρήσιμη πληροφορία που μας οδηγεί στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Αυτήν την διαδικασία σχεδιασμού συχνά την ονομάζουμε ελεγχόμενο πειραματικό σχεδιασμό (screening experiment). Η πληροφορία που θα προκύψει από αυτήν την διαλογή θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της κρίσιμης διαδρομής για την διαδικασία. Επίσης θα καθοριστούν οι παράγοντες εκείνοι που θα πρέπει να ελέγχονται πιο προσεκτικά ώστε να μην οδηγήσουν σε ασταθή απόδοση της διαδικασίας.

Τελικά η επιτυχία του σχεδιασμού της πειραματικής διαδικασίας θα οδηγήσει ώστε η διεργασία να ελέγχεται εκ των προτέρων από τις μεταβλητές εισόδου και όχι απολογιστικά από τις καταγραφές των αποτελεσμάτων της εξόδου.

5.1 Design Of Experiments

Ο Σχεδιασμός της πειραματικής διαδικασίας (DOE) είναι ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία ποικιλία πειραματικών καταστάσεων. Επιτρέπει σε περιπτώσεις με είσοδο πολλαπλών παραγόντων τον χειρισμό τους προσδιορίζοντας την επίδρασή τους στην επιθυμητή έξοδο (αποτέλεσμα). Με τον ταυτόχρονο χειρισμό πολλαπλών εισόδων, ο σχεδιασμός μπορεί να εντοπίσει σημαντικές αλληλεπιδράσεις οι οποίες φυσικά δεν εμφανίζονται όταν η πειραματική διαδικασία ελέγχει έναν παράγοντα κάθε φορά. Είναι δυνατό να διερευνηθούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί (πλήρες παραγοντικό) ή μόνο ένα μέρος των πιθανών συνδυασμών (κλασματικό παραγοντικό).

Η διαδικασία όπως απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω συντελείται με την συνεργασία παραγόντων που συνεργαζόμενοι μετατρέπουν την είσοδο στην επιθυμητή έξοδο η οποία έχει περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά. Κάποιες από τις μεταβλητές της διαδικασίας είναι πλήρως ελεγχόμενες (x_1, x_2, \dots, x_p) αλλά και άλλες (z_1, z_2, \dots, z_q) που δεν υπάρχει η δυνατότητα να ελεγχθούν.



Σχ.37 : Γενικό Μοντέλο Διαδικασίας

Η διαδικασία του σχεδιασμού ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα τα οποία είναι εξαιρετικά κρίσιμο να προσδιοριστούν σωστά πριν ξεκινήσει το πειραματικό σκέλος και γίνουν οι αντίστοιχοι υπολογισμοί.

Προ-πειραματικός
σχεδιασμός

1. Αναγνώριση και Περιγραφή του προβλήματος
2. Επιλογή των παραγόντων και του εύρους αυτών
3. Επιλογή της απόκρισης της μεταβλητής
4. Επιλογή του πειραματικού σχεδιασμού
5. Εκτέλεση της σειράς των πειραμάτων
6. Ανάλυση των στοιχείων
7. Συμπεράσματα και Προτάσεις

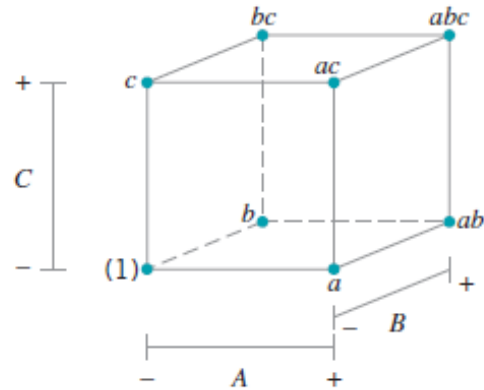
Συχνά συμβαίνουν
ταυτόχρονα ή και
με αντίθετη σειρά

Σχ.38: ακολουθία βημάτων διαδικασίας

Προκειμένου να προσεγγίσουμε τον πειραματικό μας σχεδιασμό θεωρούμε k μεταβλητές για κάθε μια από τις οποίες έχουμε μία ελάχιστη $L(-)$ και μία μέγιστη τιμή $H(+)$.

Θεωρούμε σαν ελάχιστο σημείο (1) το σημείο όπου όλες οι μεταβλητές έχουν την ελάχιστη τιμή τους και αντίστοιχα σαν a την μέγιστη τιμή της μεταβλητής όταν οι άλλες μηδενίζουν και ομοίως για τις μεταβλητές b και c . Τα γινόμενα των μεγίστων δίνουν ανά δύο ακμές και η τελευταία συμπληρώνεται από το γινόμενο όλων των μεγίστων. Το γινόμενο των μεγίστων αποτυπώνεται σε σημείο ακριβώς αντιδιαμετρικά με το σημείο των ελαχίστων και έτσι στην αποτύπωση της διάταξης σε κύβο τα δύο σημεία θα ορίζουν την διαγώνιο.

Run	Design Factors			
	A	B	C	
1	(1)	-1	-1	-1
2	a	1	-1	-1
3	b	-1	1	-1
4	ab	1	1	-1
5	c	-1	-1	1
6	ac	1	-1	1
7	bc	-1	1	1
8	abc	1	1	1



Σχ.39: Σχεδιασμός 2^3 πλήρους παραγοντικού

Αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει την εκτίμηση της επίδρασης τριών μεταβλητών (A, B, C) παράλληλα με την αλληλεπίδραση διπολικών μεταβλητών (AB, BC, CA) αλλά και της ABC. Έτσι το πλήρες παραγοντικό μοντέλο θα μπορούσε να υπολογιστεί μέσα από την εξίσωση

$$y = \mu + A + B + C + AB + AC + BC + ABC + \varepsilon$$

όπου μ η συνολική μέση τιμή και ε ο όρος τυχαίου σφάλματος.

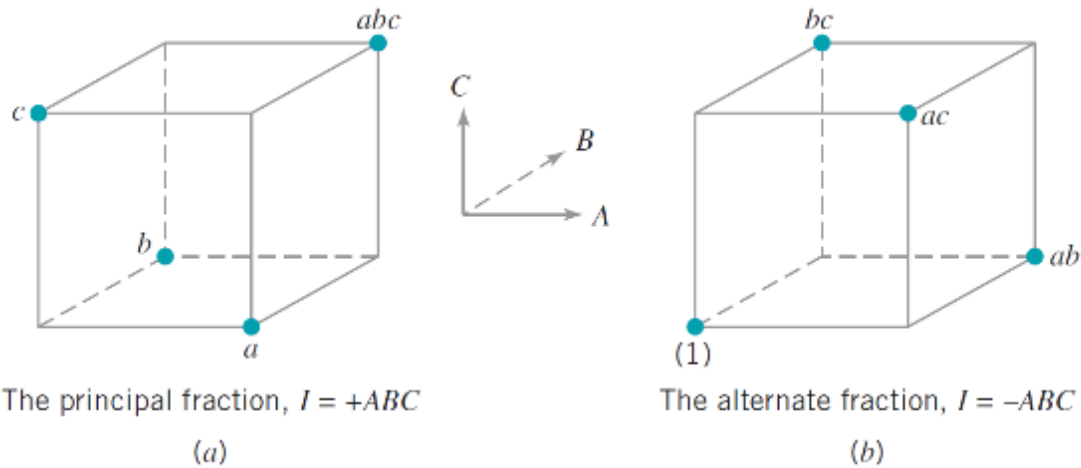
5.1.2 Κλασματικό Παραγοντικό Αναπαραγωγής Σχεδιασμού 2^k

Καθώς ο αριθμός των μεταβλητών μεγαλώνει αντίστοιχα αυξάνεται και ο αριθμός των πειραμάτων. Έτσι ο σχεδιασμός για πειραματική αλληλεπίδραση 5 μεταβλητών απαιτεί $2^5=32$ πειράματα. Σε αυτόν τον σχεδιασμό έχουμε μόνο 5 βαθμούς ελευθερίας στις κύριες μεταβλητές και 10 βαθμούς ελευθερίας στους διπολικούς τους συνδυασμούς. Εάν υποθέσουμε ότι οι αλληλεπιδράσεις υψηλής τάξης μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες τότε ο κλασματικός παραγοντικός σχεδιασμός θα ολοκληρώνεται σε λιγότερες πειραματικές διαδικασίες από τις 2^k που υπολογίσαμε για το πλήρες παραγοντικό.

5.1.3 Σχεδιασμός του Ημίσεως Κλάσματος 2^{k-1}

Ο σχεδιασμός Ημίσεως κλάσματος (The One-Half Fraction) σχηματίζεται με την επιλογή των αποτελεσμάτων μόνο από εκείνες τις πειραματικές διαδικασίες που αποδίδουν για το ABC αποτέλεσμα θετικό πρόσημο. Έτσι η επίδραση του ABC θεωρείται ως η καθοριστική αυτού του παραγοντικού και συμβολίζεται με $I = ABC$.

Παράλληλα με αυτήν θεωρούμε και την εναλλακτική της η οποία έχει το ίδιο μέτρο και αντίθετο πρόσημο και ισούται με $I = -ABC$



Σχ. 40: Σχεδιασμός 2^3 κλασματικού παραγοντικού

Αντίστοιχα ο πίνακας που σχηματίζεται μας δίνει 4 θετικές και 4 αρνητικές τιμές για τα ABC

Run	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	+	-	+	-	+	-	-
bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

Σχ. 41: Αποτύπωση προσήμου των μεταβλητών σε σχεδιασμό 2^{3-1}

Εμείς χρησιμοποιούμε μόνο τις θετικές τιμές για το γινόμενο των μεταβλητών.

Ο αριθμός των πειραμάτων στον σχεδιασμό 2^{3-1} αποδίδει τρεις βαθμούς ελευθερίας που σχετίζονται με τη κύρια επίδραση που υπολογίζεται για κάθε παράγοντα με τις σχέσεις

$$A = \frac{1}{2}[a - b - c + abc]$$

$$B = \frac{1}{2}[-a + b - c + abc]$$

$$C = \frac{1}{2}[-a - b + c + abc]$$

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε και την αλληλεπίδραση δύο μεταβλητών

$$BC = \frac{1}{2}[a - b - c + abc]$$

$$AC = \frac{1}{2}[-a + b - c + abc]$$

$$AB = \frac{1}{2}[-a - b + c + abc]$$

Άμεσο αποτέλεσμα της κλασματικής αναπαραγωγής παρατηρούμε να είναι οι παράγοντες με ίδιο μέτρο αλλά αντίθετο πρόσημο, $A=BC$, $B=AC$, $C=AB$

Η επιβεβαίωση των παραπάνω φαίνεται στον παρακάτω μετασχηματισμό

$$A = I \cdot A = ABC \cdot A = A^2 \cdot B \cdot C = BC \quad (\text{αφού ισχύει } A=I \cdot A, I=ABC, A^2=I)$$

Εφόσον το μέτρο παραμένει υπάρχει η δυνατότητα να εργαστούμε με όποιο μισό του πίνακα επιθυμούμε. Επικρατεί η ονομασία των τιμών με θετικό πρόσημο να σχηματίζουν το κύριο κλάσμα (principal fraction) ενώ των αρνητικών εναλλακτικό κλάσμα (alternate fraction).

5.2 Πειραματική προσέγγιση μεταβολής της ψυκτικής ικανότητας

5.2.1 Πειραματικός Σχεδιασμός

Τα χημικά πρόσθετα αναμένουμε ότι θα μεταβάλλουν την ψυκτική ικανότητα του νερού ψύξης σε διαφορετικό ποσοστό το κάθε ένα από αυτά και αναλόγως πάντα με την μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Έχουμε τέσσερα διαφορετικά πρόσθετα επομένως οι πιθανοί συνδυασμοί που θα έπρεπε να εξετασθούν είναι $2^4 = 16$. Εφαρμόζουμε τον σχεδιασμό Ημίσεως κλάσματος (The One-Half Fraction) εξετάζοντας $2^{k-1} = 2^{4-1} = 8$ διαφορετικούς συνδυασμούς. Ακολουθούμε την διαδικασία σχηματισμού πίνακα τιμών αναμένοντας να λάβουμε 4 θετικές και 4 αρνητικές τιμές.

Τα πρόσθετα –χάρην ευκολίας– αντικαθίστανται από ένα γράμμα ως εξής

A	=	Biocide	=	Βιοκτόνο
B	=	InOrganic Dispersant	=	Αντιαποθετικό
C	=	Organic Dispersant	=	Γαλακτωματοποιητής
D	=	Corrosion Inhibitor	=	Αντιδιαβρωτικό

Ο συνδυασμός των μεταβλητών μας δίνει τους παρακάτω πίνακες

run	A	B	C	D	E=A·B·C·D	Treatment Combination (Συνδυασμός Μεταβλητών)
1	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	e
2	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	a
3	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	b
4	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	abe
5	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	c
6	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	ace
7	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	bce
8	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	abc
9	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	d
10	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	ade
11	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	bde
12	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	abd
13	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	cde
14	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	acd
15	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	bcd
16	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	abcde

Πειραματικά θα ασχοληθούμε με τους 8 πρώτους συνδυασμούς

run	A	B	C	D	E=A·B·C·D	Treatment Combination (Συνδυασμός Μεταβλητών)
1	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	e
13	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	cde
11	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	bde
7	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	bce
10	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	ade
6	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	ace
4	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	abe
16	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	abcde
9	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	d
5	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	c
15	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	bcd
3	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	b
14	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	acd
12	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	abd
8	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	abc
2	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	a

Σχ. 42 (a) + (b) : Σχεδιασμός 2^{4-1} και απόδοση προσήμων σε πίνακα

Παρατηρούμε από τον πίνακα ότι η πρώτη πειραματική διαδικασία θα γίνει με μηδενική προσθήκη χημικών και η τελευταία με την παρουσία όλων.

Όλες οι καταγραφές θα συγκριθούν μεταξύ τους αλλά κυρίως με την καμπύλη ψύξης που θα δώσει η δοκιμή με το απιονισμένο νερό. Αυτή θεωρούμε ως την πιο ουδέτερη, ανεξάρτητη από τις συγκεντρώσεις άλλων στοιχείων και επομένως περισσότερο κατάλληλη για την επίτευξη μιας σταθερής αναφοράς γύρω από την οποία θα μεταβάλλονται και θα αξιολογούνται τα εξεταζόμενα διαλύματα.

Το απιονισμένο νερό παρασκευάζεται από το πόσιμο με τη βοήθεια κατάλληλων ιοντοανταλλακτών. Η ιοντοανταλλαγή συμβαίνει κατά τη διέλευση του πόσιμου ύδατος μέσω στήλης ιόντων που περιέχουν κατιονικούς και ανιονικούς ιοντοανταλλάκτες οι οποίοι είναι μη υδατοδιαλυτοί από συνθετικές πολυμερισμένες φαινολικές, καρβοξυλικές, αμινικές ή σουλφονικές ρητίνες υψηλού μοριακού βάρους. Η λειτουργία συνοπτικά περιλαμβάνει

α. ανταλλαγή κατιόντων με ιόντα υδρογόνου της ρητίνης στους όξινους κατιονικούς όξινοι ιοντοανταλλάκτες

β. δέσμευση ανιόντων διαλύματος στους αλκαλικούς ιοντικούς ιοντοανταλλάκτες και ανταλλαγή με υδροξυλιόντα.

Με τον τρόπο αυτό το απιονισμένο νερό (D.I./ De-Ionized) είναι απαλλαγμένο έχει σταθερό σχεδόν ουδέτερο pH και πολύ χαμηλή αγωγιμότητα (~30μS/cm).

5.2.2 Πειραματική εφαρμογή

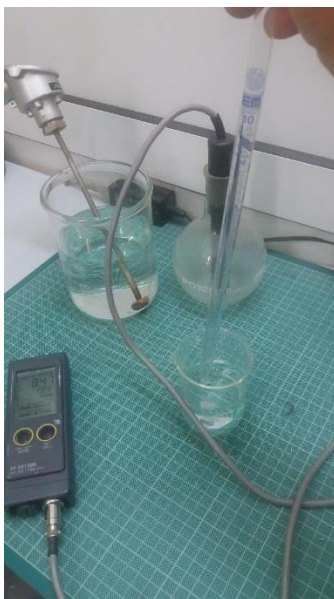
Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας είναι να λάβουμε καταγραφές από την ψύξη δοκιμίου χρησιμοποιώντας διαλύματα με τα προτεινόμενα πρόσθετα και συγκρίνοντάς τα τόσο με το νερό του δικτύου όσο και με το απιονισμένο νερό να βγάλουμε συμπεράσματα για την μεταβολή της ψυκτικής ικανότητας των διαλυμάτων αυτών.

Το δοκίμιο είναι μία μπάλα ορείχαλκου η οποία θα θερμανθεί προσομοιάζοντας την ζεστή επιφάνεια του χυτευόμενου προϊόντος και θα βυθιστεί μέσα σε δοχείο με νερό προκειμένου να ψυχθεί. Ο ορείχαλκος έχει πολύ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα οπότε αφενός μπορεί πολύ εύκολα να θερμανθεί και να φτάσει σε θερμοκρασία κοντά στους 700 °C (σημείο Τήξης >900 °C) αφετέρου άγει την θερμοκρασία του στο νερό και ψύχεται κατά την βύθισή του σε διάλυμα.

Η μπάλα του ορείχαλκου είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη στην μύτη θερμοστοιχείου τύπου k (Ni-CrNi) με περιοχή λειτουργίας -200 / +1250 °C και αποδεκτό σφάλμα μέτρησης <0,75%. Τα θερμοστοιχεία αυτά έχουν εξαιρετική μηχανική αντοχή και γραμμική συμπεριφορά ενώ λειτουργούν με την ίδια απόδοση σε οξειδωτικό περιβάλλον. Μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο συρμάτων (Ni – CrNi) λόγω του θερμοηλεκτρικού φαινομένου εμφανίζει ανάπτυξη τάσης. Εφόσον το ένα σύρμα βρίσκεται ενεργειακά σε μεγαλύτερη στάθμη από το άλλο προκαλείται κίνηση ηλεκτρονίων από το ένα στο άλλο δηλαδή Ηλεκτρικό Ρεύμα. Το θερμοστοιχείο είναι συνδεδεμένο σε μονάδα PLC που μετράει την ένταση του προκαλούμενου ρεύματος. Η κλίμακα του θερμοστοιχείου είναι 4-20mA και μεταφράζεται σε μεταβολή της θερμοκρασίας αναλογικά στο εύρος λειτουργίας του.



Σχ. 43: Εργαστηριακή Πειραματική διαδικασία

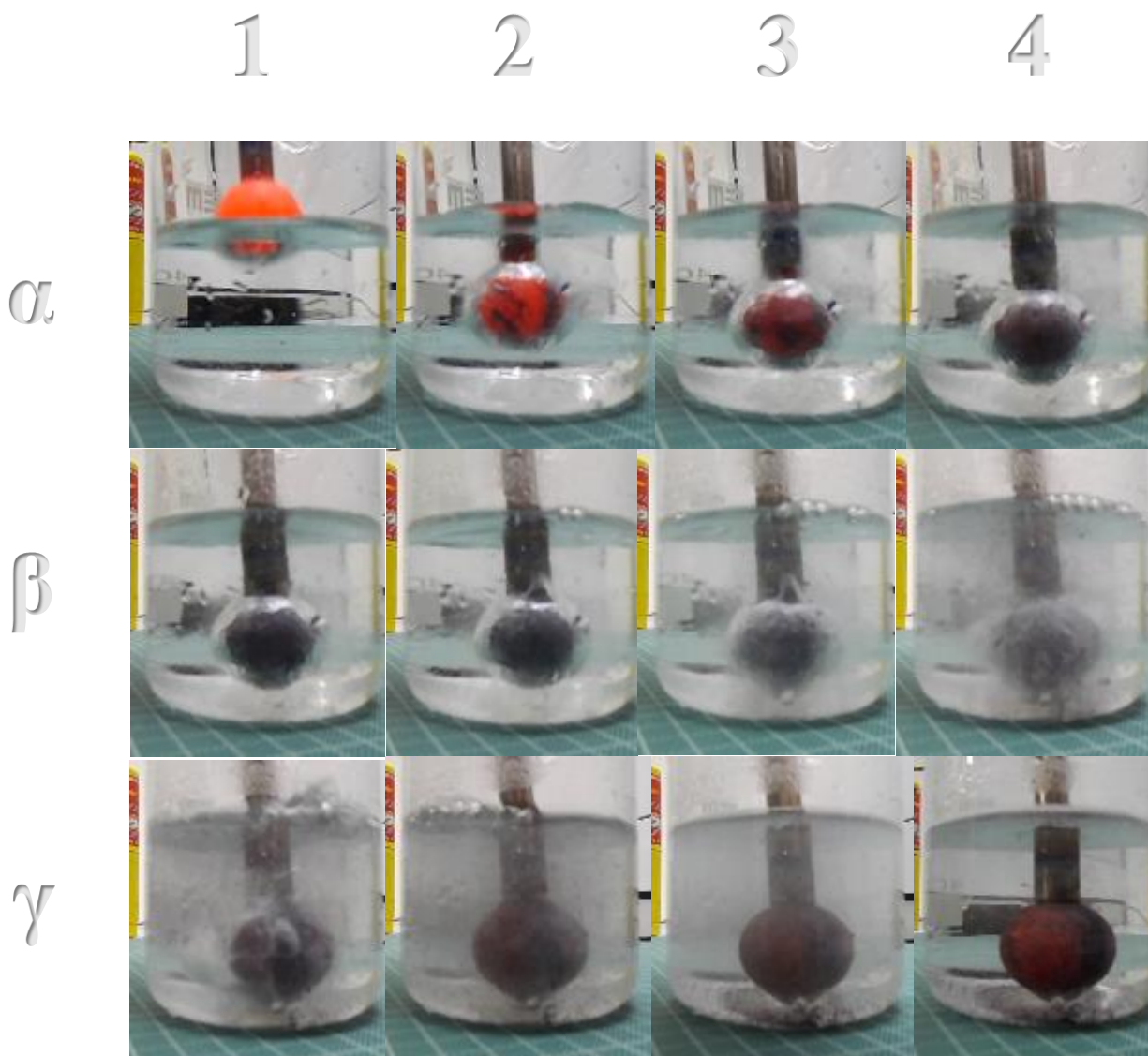


Πριν την καταγραφή της καμπύλης ψύξης μετρούνται οι τιμές

- Θερμοκρασίας (T °C),
- pH,
- Αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Τα διαλύματα δημιουργούνται με την βοήθεια ποτηριού ζέσεως, προχοΐδας και ογκομετρικών σωλήνων.

Η δοκιμή της ψυκτικής ικανότητας του μέσου με την βοήθεια της μπίλιας καταδεικνύει και τις φάσεις του βρασμού όπως έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο III.



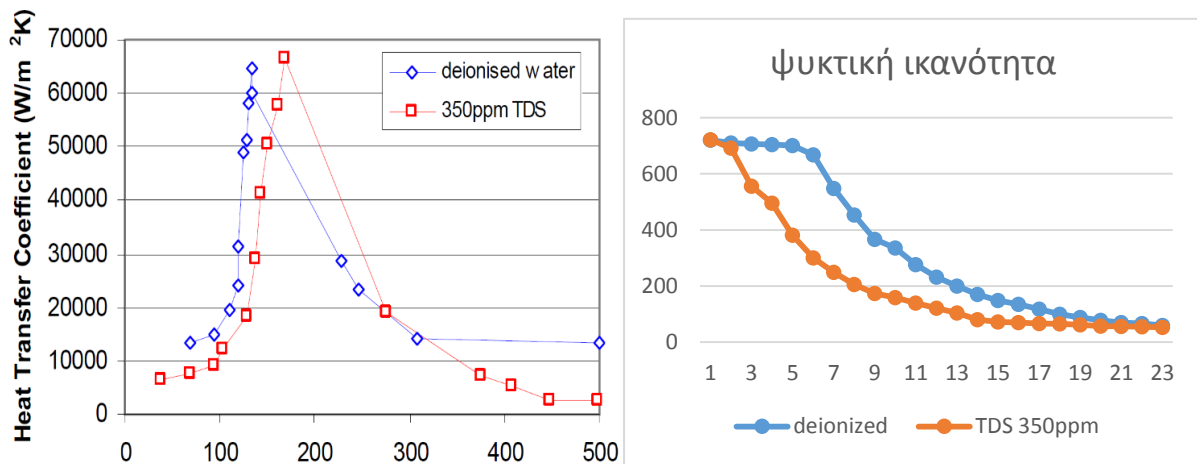
Σχ. 44: Φάσεις Βρασμού κατά την εργαστηριακή ψύξη δοκιμίου

Στα στιγμιότυπα του Σχ. 44 βλέπουμε την ψύξη του δοκιμίου και την ανάπτυξη των σταδίων βρασμού μέχρι να φτάσουμε σε αγωγή της θερμότητας από το δοκίμιο προς το νερό ψύξης. Στο στιγμιότυπο β3 έχουμε την μέγιστη ανάπτυξη στρώματος ατμού ενώ στο β4 βλέπουμε το στρώμα του ατμού να βρίσκεται σε οριακή κατάσταση. Στο αμέσως επόμενο γ1 ακριβώς την στιγμή της διάρρηξης του στρώματος ατμού λόγω πίεσης μεγαλύτερης της υδροστατικής η λιγότερο ζεστή πια μπίλια δεν μπορεί να συντηρήσει το στρώμα ατμού και έτσι παρατηρούμε την βίαιη εκτόνωσή του με την μορφή βρασμού όπου οι φυσαλίδες παγιδεύουν ποσά θερμότητας και τα μεταφέρουν στο ψυχόμενο μέσο.

5.2.3 Καταγραφές

i. Αναφορά το απιονισμένο νερό

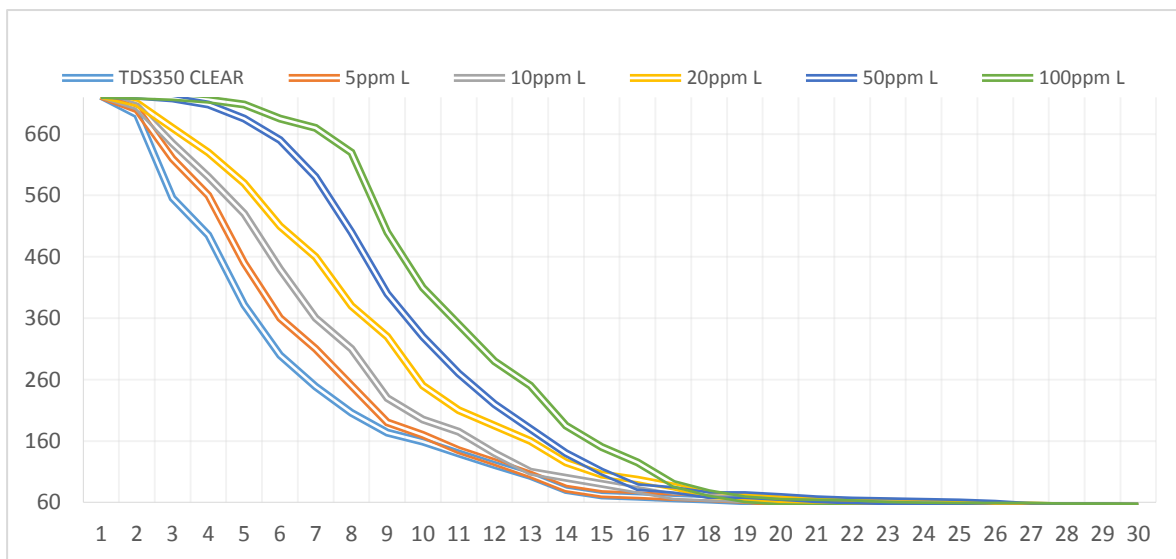
Η πρώτη καταγραφή που είναι σημαντικό να αποτυπωθεί είναι η συμπεριφορά του δοκιμίου κατά την βύθισή του σε νερό δικτύου σε σχέση με το απιονισμένο νερό.



Σχ. 45: Ψυκτική Ικανότητα de-ionized vs TDS 350ppm

Η αυξημένη αγωγιμότητα οδηγεί σε αυξημένη ψυκτική ικανότητα του νερού καθώς τα διαλυμένα στερεά θα διατηρήσουν τον πυρηνικό αναβρασμό για περισσότερο χρόνο στις υψηλές θερμοκρασίες.

ii. Συγκέντρωση Λιπαντικών

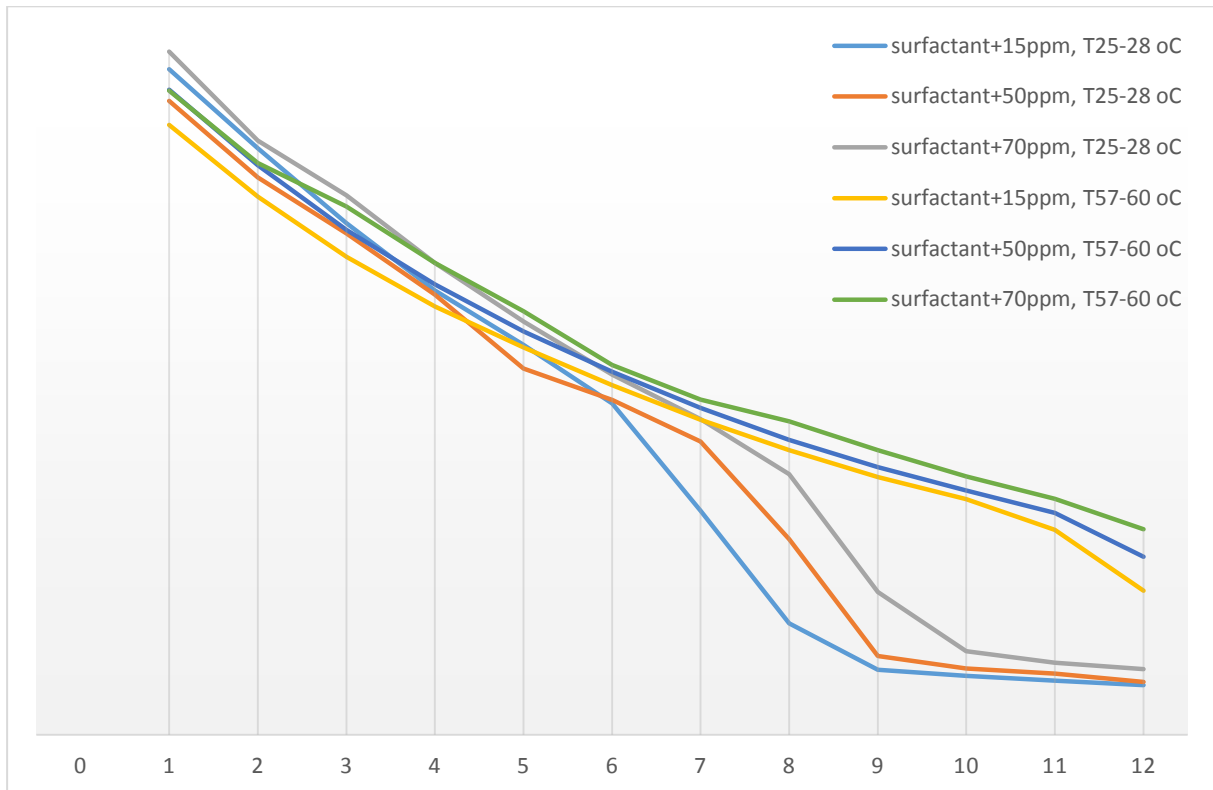


Σχ. 45: Επίδραση λιπαντικών στην Ψυκτική Ικανότητα

Η αυξημένη συγκέντρωση λιπαντικών επιβραδύνει την ψύξη ενώ οι συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 50ppm διαφοροποιούν εντελώς τα φαινόμενα.

iii. Θερμοκρασία Νερού Ψύξης & Γαλακτωματοποιητής

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η επιβάρυνση των λιπαντικών προσθέτουμε γαλακτωματοποιητή προκειμένου να τα παγιδεύουμε και να τα απομακρύνουμε με την βοήθεια της στρατσώνας.



Σχ.46 : Ψυκτική Ικανότητα σε διαφορετικές συγκεντρώσεις Γαλακτωματοποιητή

Παρατηρούμε ότι το νερό που θα παραμείνει στο ψυκτικό κύκλωμα θα έχει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή των νερών που περιέχουν λιπαντικά. Επιβεβαιώνεται επίσης η αρνητική επίδραση που προκαλεί η άνοδος της θερμοκρασίας στην ψυκτική ικανότητα.

Στην πραγματικότητα το νερό ψύξης με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 40 °C δημιουργεί συνθήκες δημιουργίας film ατμού και εύθραυστης μετάβασης στην ζώνη αυτή.

iv. Αλληλεπίδραση Χημικών Πρόσθετων στο διάλυμα

Προκειμένου να παρατηρήσουμε την αλληλεπίδραση των χημικών πρόσθετων εξετάζουμε την ψυκτική ικανότητα των διαλυμάτων που προέκυψαν με τους συνδυασμούς που καθορίσαμε. Τα διαλύματα προκύπτουν από την διάλυση των χημικών προσθέτων σε μικρές ποσότητες σε βάση νερού από το δίκτυο.

Η προσθήκη γίνεται στις παρακάτω συγκεντρώσεις

Dispersant	40 ppm
Hardness Stabilizer	40 ppm
Biocide	200 ppm
Corrosion Inhibitor	30 ppm

Πριν την πειραματική καταγραφή της καμπύλης ψύξης μετρήθηκε η μεταβολή των βασικών παραμέτρων ενδεικτικών του νερού ψύξης με την προσθήκη ενός κάθε φορά χημικού. Η τάση για την νέα δυναμική του συστήματος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα,

	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm)
Organic Dispersant	↓	↓
InOrganic Dispersant	↑↑	↑
Biocide	↓	↑↑
Corrosion Inhibitor	↓↓↓	↑↑↑

Σχ.47 : *Τάση μεταβολής βασικών χαρακτηριστικών νερού ψύξης*

Οι τάσεις αυτές έχουν σαν σημείο αναφοράς τα χαρακτηριστικά του νερού από το δίκτυο τα οποία έχουν μέση τιμή pH 7,85 και Αγωγιμότητα 240 μS/cm

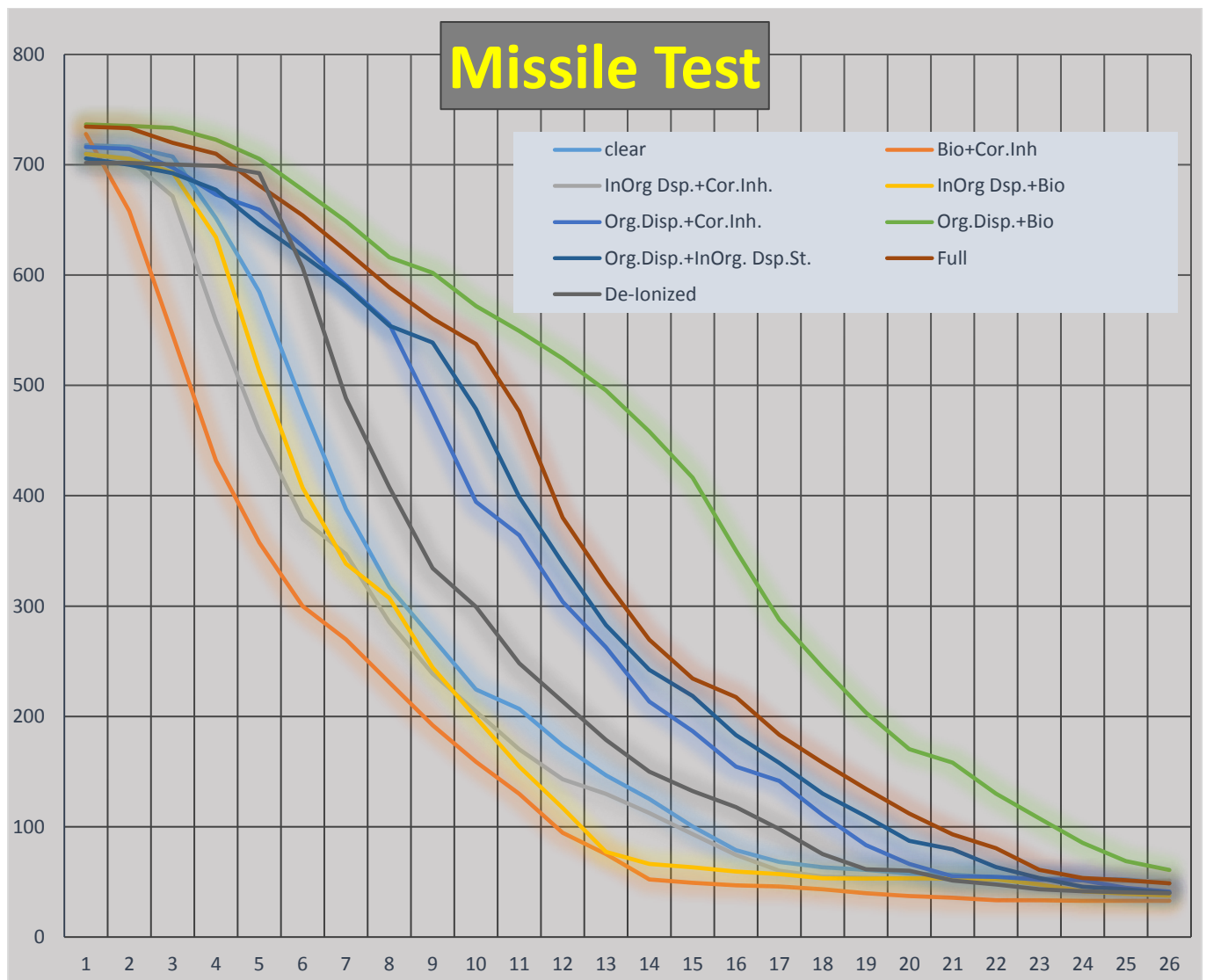
Έτσι η τάση διαμόρφωσης νέας δυναμικής λαμβάνει πάντοτε σαν αφετηρία αυτή την κατάσταση.

Ομοίως, για τα συστήματα διαλυμάτων που προέκυψαν με προσθήκη περισσότερων χημικών μετρήθηκαν τα χαρακτηριστικά του νερού όπου επιβεβαιώνεται επιπλέον και η ένταση στην δραστηριότητα των προσθέτων.

Η θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ 22-23 °C διασφαλίζοντας αλλοίωση των συνθηκών.

Organic Dispersant	InOrganic Dispersant	Biocide	Corrosion Inhibitor	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm)	T (°C)
(-)	(-)	(-)	(-)	7,85	350	23,4
(-)	(-)	(+)	(+)	6,23	960	22,7
(-)	(+)	(-)	(+)	7,46	712	22,5
(-)	(+)	(+)	(-)	7,67	680	22,2
(+)	(-)	(-)	(+)	6,75	520	22,5
(+)	(-)	(+)	(-)	7,39	480	23,1
(+)	(+)	(-)	(-)	7,83	475	22,9
(+)	(+)	(+)	(+)	6,95	1085	22,1

Σχ.48 : Μεταβολής βασικών χαρακτηριστικών νερού ψύξης για τα διαλύματα



Σχ.49 : Χαρακτηριστικές καμπύλες ψύξης δοκιμίου για τα εξεταζόμενα διαλύματα

Οι καμπύλες ψύξης προκύπτουν από τον μέσο όρο των καταγραφών τριών διαδοχικών πειραμάτων για κάθε περίπτωση και πάντοτε με την προϋπόθεση ότι τα αποτελέσματα των πειραμάτων είχαν μεταξύ τους συγκλίνουσα συμπεριφορά.

Οι καμπύλες ψύξης της κάθε περίπτωσης δύναται να χρησιμοποιηθεί περισσότερο σαν σύγκριση για τις μεταξύ των καταστάσεων δυναμική παρά σαν απόλυτη κατάσταση για τις συνθήκες της εκάστοτε περίπτωσης.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα & Εφαρμογή

Η παρατήρηση και ερμηνεία των καταγραφών αλλά και τα χαρακτηριστικά των χημικών προσθέτων όπως παρατηρήθηκαν, μετρήθηκαν και αναλύθηκαν μας οδηγούν σε συμπεράσματα για την καταλληλότητά τους στην επεξεργασία του νερού των ανοικτών κυκλωμάτων.

6.1 Συμπεράσματα

Οι καταγραφές μας δείχνουν ότι

- i. Η αύξηση της αγωγιμότητας σε καθαρά διαλύματα αυξάνει την ψυκτική τους ικανότητα. *Σύγκριση καμπύλης Clear vs de-Ionized*
- ii. Η αγωγιμότητα δεν μπορεί να αποτελέσει κριτήριο ένδειξης της ψυκτικής ικανότητας όταν το χημικό πρόσθετο μεταβάλει άλλα χαρακτηριστικά του όπως η υφή και το ιξώδες του. Τα περισσότερα χημικά πρόσθετα έχουν ιοντικό χαρακτήρα. Διάλυμα νερού με προσθήκη κολλώδους χημικού, ακόμη και εάν εμφανίζει αυξημένη αγωγιμότητα σε σχέση με το καθαρό νερό, έχει μειωμένη ψυκτική ικανότητα.
- iii. Προσμίξεις στο νερό ψύξης με βάση ορυκτέλαια ή εστέρες που καταλήγουν σε αυτό από τις διάφορες φάσεις της διαδικασίας παραγωγής αλλοιώνουν σημαντικά την συμπεριφορά του ψυκτικού μέσου. Η ψυκτική ικανότητα εμφανίζεται να μειώνεται δραματικά και να επιδεινώνεται εκθετικά με την αύξηση της συγκέντρωσης.
- iv. Η επίδραση του γαλακτωματοποιητή είναι αντίστοιχη με αυτή των λιπαντικών για την εξουδετέρωση των οποίων χρησιμοποιείται. Ενδεχόμενη χρήση του θα πρέπει να συνδυάζεται με μεγάλα ποσά blow down ώστε να επιτυγχάνεται ικανή ανανέωση.

Τα συμπεράσματα (ii), (iii), (iv) προκύπτουν ύστερα από παρατήρηση των καμπυλών στα διαλύματα που συμμετέχει πρόσθετο Organic Dispersant και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των διαλυμάτων Σχ. 48 & Σχ. 49

- v. Η επίδραση του αντιδιαβρωτικού είναι εξαιρετικά ισχυρή και διαταράσσει το σύστημα διαφοροποιώντας τα χαρακτηριστικά του διαλύματος και αυξάνοντας την ψυκτική του ικανότητα.
- vi. Το βιοκτόνο εμφανίζει τάση αντίστοιχη του αντιδιαβρωτικού με ηπιότερη όμως ένταση και ελαφρώς κολλώδη υφή. Η επίδρασή του μπορεί εύκολα να αντισταθμιστεί από άλλους παράγοντες ενώ οι καμπύλες ψύξης που δίνει δεν έχουν σημαντική απόκλιση από την καμπύλη του καθαρού νερού.

- vii. Τα ανόργανα χημικά πρόσθετα έχουν την ηπιότερη επίδραση τόσο στην ψυκτική ικανότητα του νερού όσο στο ιξώδες του. Η αλληλεπίδραση με τα υπόλοιπα χημικά πρόσθετα δεν αξιολογήθηκε να επιφέρει αξιοσημείωτες μεταβολές.
- viii. Τα χημικά πρόσθετα δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με μη-αναμενόμενο τρόπο. Τα χαρακτηριστικά του ενός αντισταθμίζονται από τα χαρακτηριστικά του άλλου. Σημαντικά χαρακτηριστικά που χρειαζόμαστε να κρατάμε σταθερά και κοντά σε αυτά του καθαρού νερού είναι το ιξώδες και η διαύγεια.

6.2 Εφαρμογή

Λαμβάνοντας υπόψιν τις ψυκτικές απαιτήσεις αλλά και τα χαρακτηριστικά του νερού ως ψυκτικό μέσο, τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού απόρριψης αλλά και τα χαρακτηριστικά που προσδίδουν στο διάλυμα τα χημικά πρόσθετα οδηγούμαστε στην παρακάτω πρόταση.

- a) Η αγωγιμότητα του νερού των Πύργων Ψύξης θα πρέπει να διατηρείται μέσω κατάλληλου στρατσωνισμού σε εύρος μεταξύ 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα θα διατηρείται στους 2,5 CC (Κύκλους Συμπύκνωσης).
- b) Η προστασία από τις αποθέσεις αλάτων θα γίνεται με κατάλληλη εφαρμογή ανόργανων πολυμερών. Σκοπός είναι η δημιουργία ευδιάλυτων σύμπλοκων που θα αποβάλλονται με το νερό στρατσώνας. Η σκληρότητα του νερού θα εμφανίζεται σταθεροποιημένη (Threshold Effect) και θα αποτρέπεται ο σχηματισμός κρυσταλλικών αλάτων.
- c) Η διαρκής και σταθερή εφαρμογή βιοκτόνου θα καταστήσει ανθεκτικούς μικροοργανισμούς. Η χρήση του βιοκτόνου προτείνεται σε shock δόσεις με συχνότητα δύο φορές τον μήνα ώστε να μοιραστεί η ποσότητα και να μην έχουμε μεταβολή των χαρακτηριστικών του νερού.
Επειδή το νερό έρχεται σε απευθείας επαφή με το θερμό μέταλλο έχουμε μικρής έκτασης παστερίωση του νερού που ανακυκλοφορεί. Ο μηχανισμός αυτός δρα ευεργετικά και δεν θα πρέπει να παραβλέπεται κατά την αξιολόγηση ανάπτυξης μικροοργανισμών. Σε περίπτωση αύξησης της ψυκτικής ανάγκης η ποσότητα του βιοκτόνου δύναται να ελαττωθεί αντίστοιχα.
- d) Η χρήση του γαλακτωματοποιητή δεν προτείνεται καθώς μειώνει σημαντικά την ψυκτική ικανότητα του νερού και μεταβάλλει το κινηματικό του ιξώδες. Προτείνεται η απομάκρυνση με χρήση μηχανικών μέσων (Oil Skimmers) ή την κατασκευή δεξαμενών για ενίσχυση του φυσικού διαχωρισμού.
- e) Ακριβώς στην αντίθετη πλευρά βρίσκεται η επίδραση του αντιδιαβρωτικού η οποία ομοίως οδηγεί το σύστημα σε εντελώς διαφοροποιημένη κατάσταση. Η ενδεδειγμένη συντήρηση των Πύργων Ψύξης και η αντικατάσταση των σωληνώσεων με πλαστικές θα μπορέσει να διατηρήσει τον εξοπλισμό σε κατάσταση λειτουργίας.
Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε φωσφορικά, χλώριο και βαρέα μέταλλα καθιστά την διαχείρισή του αδύνατη ή ασύμφορη.

Το αντιδιαβρωτικό δεν είναι συναφές με τις απαιτήσεις της διαδικασίας επομένως δεν συνιστάται η χρήση του.

6.2.1 Μηχανισμός Εισαγωγής και διαδικασία.

Η εισαγωγή των χημικών πρόσθετων στο κύκλωμα θα γίνεται με την χρήση κατάλληλης παροχής και πίεσης δοσομετρικών αντλιών.

Σημαντικό για την διατήρηση του συστήματος είναι η σταθερή προσθήκη του ανόργανου πολυμερούς. Η προσθήκη θα πραγματοποιείται σε ποσότητα ίση με 40ppm στην ποσότητα του Make Up.

Εάν υπάρχει μεγαλύτερη ευκολία για προσθήκη στον Πύργο Ψύξης τότε εφόσον το σύστημα διατηρείται στους 2,5 κύκλους συμπύκνωσης θα πρέπει αντίστοιχα η προσθήκη να διαμορφωθεί στα 100ppm στην ποσότητα όμως του Blow Down.

Το βιοκτόνο δύναται να εισάγεται αυτοματοποιημένα με μεγαλύτερη αντλία λαμβάνοντας εντολή από χρονοδιακόπτη. Κατάλληλοι μετρητές ή ροόμετρα μπορούν να διασφαλίζουν την διαδικασία και να ειδοποιούν τυχόν δυσλειτουργίες.

Η ποσότητα του νερού της στρατσώνας είναι πάντοτε σχετική με την εξάτμιση των Πύργων Ψύξης αλλά και την επιθυμητή διατήρηση της αγωγιμότητας με δεδομένη την αγωγιμότητα του νερού από το δίκτυο.

Η λύση του συστήματος των παρακάτω εξισώσεων θα διαμορφώνει την απαιτούμενη ποσότητα για στρατσώνα

$$X + Y = \text{Make UP}$$

$$X * 0 \mu\text{S/cm} + Y * 750 \mu\text{S/cm} = \text{Make Up} * 350 \mu\text{S/cm}$$

όπου,

$$X = \text{m}^3 \text{ Εξάτμισης από τους Πύργους Ψύξης}$$

$$Y = \text{m}^3 \text{ Blow Down}$$

Βιβλιογραφία

- [1] Water Technology (Third Edition)
An Introduction for Environmental Scientists and Engineers
N. F. Gray Ph.D., Sc.D. Centre for the Environment, School of Natural Sciences,
Trinity College, University of Dublin
- [2] Cussler EL (2009) *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems*. Cambridge
- [3] ASHRAE Handbook (1996) *HVAC Systems and Equipment*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc.
- [4] Bontozoglou V and Karabelas AJ (1995) Direct-contact steam condensation with simultaneous non-condensable gas absorption. *AIChE Journal*, **41**, 241-250.
- [5] J.F.Grandfield et al. *Light Metals* 1997, p691
- [6] J. Langlais et al. *Light Metals* 1995, p979
- [7] http://www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k_8.pdf
- [8] <http://www.slideshare.net/akarim717/emulsifiers-24886915>
- [9] *Statistical Quality Control* (6th Edition), Douglas C. Montgomery
- [10] RATIONAL DEVELOPMENT OF NEW COOLING WATER CHEMICAL TREATMENT PROGRAMS FOR SCALE AND MICROBIAL CONTROL, Kostas D. Demadis, Bo Yang, Paul R. Young, Dmitri L. Kouznetsov, and Douglas G. Kelley, Nalco Chemical Company, Global Water Research, One Nalco Center, Naperville, IL 60563-1 198
- [11] Heat transfer and Mass transfer in a cooling tower, Nikhilesh Mukherjee
- [12] The Use of Water Cooling during the Continuous Casting of Steel and Aluminum Alloys, J. SENGUPTA, B.G. THOMAS, and M.A. WELLS
- [13] Cooling Water Management, Basic Principles and Technology, Timothy Keister, CWT, Fellow, American Institute of Chemists, Certified Water Technologist, Certificate #90, ProChemTech International, Inc., Apache Junction, AZ, and Brockway, Pennsylvania, www.prochemtech.com, Distribution: General Issue: 08/30/01, Last revision: 03/08
- [14] Control and effect of dissolved air in water during flow boiling in microchannels Mark E. Steinke, Satish G. Kandlikar {science direct}
- [15] Consistent Water Quality, A requirement in Aluminium Casting, George B. Waltman- September, 24, 1996 NALCO SYSTEMS

- [16] Applied Thermal Engineering, Tower characteristics correlation and parameter retrieval in wet-cooling tower with expanded wire mesh packing
Rohit K. Singla, Kuljeet Singh, Ranjan Das {science direct}
- [17] Science of the Total Environment, Rapid changes in water hardness and alkalinity: Calcite formation is lethal to *Daphnia magna*
Sarah J. Bogart, Samuel Woodman, Dylan Steinkey, Cindy Meays, Greg G. Pyle
{science direct}
- [18] Calcium Carbonate,
M.M.H. Al Omari*, I.S. Rashid*, N.A. Qinna†, A.M. Jaber A.A. Badwan
{science direct}