

## ΧΡΗΣΗ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΥΡΓΟΥΣ ΨΥΞΗΣ

Η χρήση του όζοντος για την κατεργασία νερού σε πύργους ψύξης αυξάνει σημαντικά τα τελευταία χρόνια και αρκετές έρευνες και εφαρμογές που έχουν καταγραφεί στην διεθνή βιβλιογραφία αποδεικνύουν την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, ελάττωσης των απαιτήσεων σε φρέσκο νερό και μείωσης του κόστους λειτουργίας.



**Εικ. 1 Πύργος Ψύξης Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Στις περισσότερες από τις εφαρμογές που έχουν καταγραφεί, το όζον χρησιμοποιείται σαν αποκλειστικό χημικό για την αποφυγή τόσο των βιολογικών όσο και των ανόργανων αποθέσεων.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης όζοντος σαν αποκλειστική επεξεργασία είναι:

- Η δυνατότητα αύξησης του βαθμού συμπύκνωσης (cycles of concentration) σε 8-15 έναντι 2-3 των κλασικών συστημάτων, με αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της απαίτησης για φρέσκο νερό.
- Έχει ισχυρή βακτηριοκτόνο δράση για ευρύ φάσμα βιολογικών αποθέσεων
- Δεν προσθέτει χημικά στο νερό του πύργου ψύξης και επομένως η διάθεση της απομάστευσης δεν προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Δεν απαιτεί την αποθήκευση χημικών ιδιαίτερα των βακτηριοκτόνων που είναι τοξικά και υπόκεινται σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

- Διατηρεί τις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας καθαρές, ιδιαίτερα όταν η ρύπανση οφείλεται σε βιολογικές αποθέσεις.

Στην βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί και εφαρμογές σε πύργους ψύξης με μηδενική απομάστευση (zero discharge), ειδικά σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη νερού.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση όζοντος για την κατεργασία νερού σε πύργους ψύξης η εφαρμογή της τεχνολογίας σε συγκεκριμένο πύργο ψύξης απαιτεί την συστηματικά εξέταση των συνθηκών λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος (πύργος ψύξης - χρήσεις νερού ψύξης), της χημείας του νερού, των υλικών του εξοπλισμού, των συνθηκών περιβάλλοντος στην περιοχή και του μηχανισμού γέννησης και τύπου των αποθέσεων.

Το όζον με μοριακό τύπο  $O_3$  είναι μία ένωση αποτελούμενη από τρία άτομα οξυγόνου και παράγεται σε βιομηχανική κλίμακα με ηλεκτρική εκκένωση σε ειδικούς αντιδραστήρες όπου διοχετεύεται αέρας ή καθαρό οξυγόνο.

Το όζον στις συνθήκες περιβάλλοντος είναι ένα ασταθές αέριο γαλάζιου χρώματος με πολύ χαρακτηριστική οσμή απ' όπου προέρχεται και το όνομά του.

Το όζον ανιχνεύεται με την οσμή σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (0,01 με 0,05 ppm vol) ενώ το επιτρεπτό όριο για οκτάωρη έκθεση εργαζόμενου είναι 0,1 ppm vol.

Οι βασικές ιδιότητες του όζοντος είναι:

Μοριακό βάρος	: 48
Πυκνότητα αερίου	: 1,4298Kg/Nm <sup>3</sup>
Σημείο βρασμού	: -111,9 (+/-0,3) °C
Σημείο τήξης	: -192,5 (+/-0,4) °C
Κρίσιμη θερμοκρασία	: -12,1 °C
Κρίσιμη πίεση	: 54,6 °C
Σταθερά Henry 0 °C	: 1,948 Atm/mol
10 °C	: 2,480 Atm/mol
20 °C	: 3,760 Atm/mol
30 °C	: 5,98 Atm/mol

Δυναμικό οξειδοαναγωγής : 2,08Volt

Η σταθερότητα του όζοντος στον αέρα (χρόνος ημιζωής) είναι μεγαλύτερη από ότι στο νερό. Στις συνθήκες λειτουργίας των βιομηχανικών πύργων ψύξης ο χρόνος ημιζωής του όζοντος στο νερό είναι 10 με 20 min ανάλογα με την θερμοκρασία και την ποιότητα του νερού.

Η βασική λειτουργία ενός πύργου ψύξης είναι η μείωση της θερμοκρασίας (ψύξη) ενός ανακυκλωμένου ρεύματος νερού. Ο πύργος ψύξης λειτουργεί σαν ένας εναλλάκτης,

φέροντας σε επαφή ένα ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα με το ανακυκλούμενο νερό, που καταιωνίζεται στον πύργο. Αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι ένα μέρος του ζεστού νερού να εξατμίζεται (η εξάτμιση απάγει θερμότητα) ψύχοντας την κύρια μάζα του ανακυκλούμενου νερού, που τροφοδοτείται πίσω στον εξοπλισμό (εναλλάκτες, συμπυκνωτές) που απαιτούν ψύξη.

Η εξάτμιση του νερού στον πύργο ψύξης προκαλεί συμπύκνωση των διαφόρων ουσιών (ανόργανων και οργανικών) που περιέχονται στο νερό ανακυκλοφορίας καθώς και συσσώρευση ουσιών που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα της περιοχής.

Η συσσώρευση των ανεπιθύμητων αυτών ουσιών προκαλεί ρύπανση στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας με αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση και αύξηση του κόστους λειτουργίας.

Για την διατήρηση ανεκτών συνθηκών λειτουργίας και συγκέντρωσης των ρύπων απαιτείται κατεργασία του νερού ανακυκλοφορίας, παράλληλα με την απομάκρυνση (blowdown) ποσότητας νερού, που αντικαθίσταται με το φρέσκο.

Βασική παράμετρος λειτουργίας των πύργων ψύξης είναι ο βαθμός συμπύκνωσης του νερού που υπολογίζεται συνήθως από τον λόγο των χλωριόντων στο νερό ανακυκλοφορίας ως προς το φρέσκο νερό.



Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμπύκνωσης τόσο πιο οικονομικά λειτουργεί ο συγκεκριμένος πύργος ψύξης. Στην πράξη ο βαθμός συμπύκνωσης διατηρείται σε τέτοιο επίπεδο με χρήση χημικών ώστε να προκύπτουν ανεκτές συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης μεταξύ του χρόνου δύο διαδοχικών συντηρήσεων του εξοπλισμού. (Σταμάτημα λειτουργίας και μηχανικός η χημικός καθαρισμός)

## **Εικ. 2 Βιομηχανικός Πύργος Ψύξης**

Συνήθως χημικά όπως χλώριο, βρώμιο ή ενώσεις αυτών και άλλα βακτηριοκτόνα (biocides) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των βιολογικών αποθέσεων στις θερμές επιφάνειες του εξοπλισμού, ενώ διάφορα άλλα ανόργανα ή οργανικά χημικά, χρησιμοποιούνται για αποφυγή αποθέσεων ανόργανων αλάτων και μείωση της διάβρωσης.

Η χρήση των χημικών αυτών, που επίσης συσσωρεύονται στην απομάστευση του πύργου ψύξης (blowdown), μπορεί να δημιουργήσουν περιβαλλοντικά προβλήματα στους αποδέκτες ή μονάδες κατεργασίας αποβλήτων, λόγω και της διαρκώς αυστηρότερης περιβαλλοντικής νομοθεσίας.

Το όζον όταν χρησιμοποιείται στους πύργους ψύξης για τον έλεγχο των αποθέσεων λόγω του μικρού χρόνου ζωής συνήθως δεν επιβαρύνει το ψυκτικό νερό ανακυκλοφορίας και δεν ανιχνεύεται στο νερό της απομάστευσης εξασφαλίζοντας την συμμόρφωση προς την περιβαλλοντική νομοθεσία και κανονισμούς.

Εκτεταμένες έρευνες σε Ευρώπη και Αμερική σε βιομηχανική κλίμακα δείχνουν ότι η χρήση όζοντος σαν αποκλειστική κατεργασία του νερού ψύξης δίνουν την δυνατότητα σημαντικής αύξησης του βαθμού συμπίκνωσης. (5 με 8 έναντι 1,5 με 3 για την κλασσική χημική επεξεργασία)

Η παραγωγή του όζοντος για χρήση σε πύργους ψύξης γίνεται συνήθως από αέρα ο οποίος υφίσταται συμπίεση, καθαρισμό και αφαίρεση της υγρασίας πριν οδηγηθεί στον οζονιστήρα.



Στον οζονιστήρα, με ηλεκτρική εκκένωση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες γίνεται η παραγωγή όζοντος, που εν συνεχεία αναμιγνύεται με το ψυκτικό νερό.

Η τεχνολογία παραγωγής όζοντος έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια όσον αφορά την ασφάλεια και αξιοπιστία του εξοπλισμού παραγωγής όζοντος. Στην αγορά υπάρχουν αρκετές εταιρίες που διαθέτουν συμπληρωματικά συστήματα παραγωγής και ανάμειξης όζοντος.

### **Εικ. 3 Πλήρες Σύστημα Παραγωγής Όζοντος από Αέρα**

Η παραγωγή του όζοντος επί τόπου στην ποσότητα που απαιτούν οι καθημερινές συνθήκες έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής αποθήκευσης χημικών τα οποία είναι τοξικά και υπόκεινται σε αυστηρούς περιβαλλοντικούς όρους διαχείρισης.

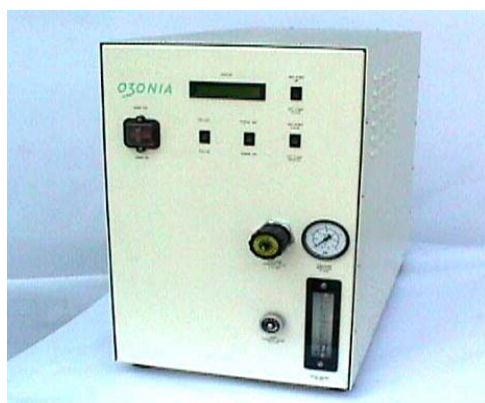
Η κύρια δράση του όζοντος στην κατεργασία του νερού ψύξης οφείλεται στην έντονη βακτηριοκτόνο δράση του σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Οι πύργοι ψύξης λόγω της φύσης λειτουργίας τους εκτίθενται συνεχώς σε συσσώρευση οργανικών ουσιών και ανάπτυξη αερόβιων βακτηριδίων, αλγών και μυκήτων που αποτελούν δυνητικά κίνδυνο για την λειτουργία του συστήματος και την υγεία των εργαζομένων.

Για παράδειγμα η αρρώστια των λεγεωνάριων (Legionnaire's disease) προκαλείται από το βακτήριο *Legionell pneumophila* που συνήθως ανιχνεύεται στους πύργους ψύξης. Υψηλή περιεκτικότητα σε βακτήρια μπορεί επίσης να οδηγήσει σε επιτάχυνση της βιολογικής διάβρωσης του εξοπλισμού.

Συγκεκριμένα αναγωγικά θειοβακτήρια ή σιδηροβακτήρια μπορούν να καταστρέψουν σωληνώσεις και εξοπλισμό σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 10 μηνών. Επίσης η επικάλυψη της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας με biofilm που δρα και σαν συνεκτικός ιστός στην απόθεση ανόργανων αλάτων, οδηγεί σε δραματική μείωση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας.

Η δράση του όζοντος ως βακτηριοκτόνο οφείλεται στην καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης, λόγω της έντονης οξειδωτικής του δράσης, μια διαδικασία στην οποία τα βακτήρια δεν μπορούν να αναπτύξουν ανοσία ή μεθόδους αντίδρασης. Δόση όζοντος μεγαλύτερη ή ίση με 0,4 mg/lit έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνει 100% θανάτωση σε 2 με 3 λεπτά του βακτηριδίου *Pseudomonas fluoresceus* βασικού υπεύθυνου της ανάπτυξης βιολογικής ρύπανσης σε εξοπλισμό, ενώ υπολειμματική δόση 0,1 mg/lit μπορεί να απομακρύνει το 70-80% της ρύπανσης αυτής από εξοπλισμό σε τρεις ώρες. Ένα άλλο φαινόμενο που πρέπει να αντιμετωπισθεί στους πύργους ψύξης είναι η απόθεση των ανόργανων αλάτων στις θερμές επιφάνειες του εξοπλισμού. Αν και το όζον δεν έχει καμία επίδραση στον μηχανισμό σχηματισμού και απόθεσης των ανόργανων αλάτων αυτών, έχει αποδειχθεί στην πράξη από τις διάφορες εφαρμογές και μελέτες ότι σε περιπτώσεις όπου το βασικό αίτιο απόθεσης των αλάτων αυτών είναι ο συνεκτικός ιστός που δημιουργείται από το βιολογικό φιλμ, η χρήση όζοντος έχει σημαντική επίδραση στην διατήρηση καθαρών επιφανειών εναλλαγής και αποφυγή ρύπανσης.



Σε περιπτώσεις όπου ο μηχανισμός απόθεσης ανόργανων αλάτων δεν καθορίζεται από την βιολογική ρύπανση και ιδιαίτερα για θερμές επιφάνειες με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 55 °C η χρήση όζοντος δεν έχει καμία επίδραση στις αποθέσεις ανόργανων αλάτων και θα πρέπει να αναζητηθούν άλλοι κλασικοί τρόποι με χρήση χημικών για έλεγχο της ρύπανσης αυτής.

#### **Εικ. 4 Οζονιστήρας για Παραγωγή Οζοντος από Αέρα η Οξυγόνο**

Αν και το όζον λόγω της έντονα οξειδωτικής δράσης του μπορεί να προσβάλλει σημαντικά μεταλλικά και μη μεταλλικά μέρη εξοπλισμού, στην πράξη έχει αποδειχθεί

ότι αφενός λόγω των πολύ μικρών δόσεων που απαιτούνται, αφετέρου λόγω της αύξησης του pH σε περιοχή γύρω από το 8,5 οι ρυθμοί διάβρωσης με ή χωρίς χρήση όζοντος δεν έχουν διαφορά και σε ορισμένες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί και βελτίωση του ρυθμού διάβρωσης.