
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν κείμενο αναφοράς για την εφαρμογή βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών στα βιομηχανικά ψυκτικά συστήματα (BREF) αντιπροσωπεύει την ανταλλαγή πληροφοριών που πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 2 της οδηγίας 96/61/EK του Συμβουλίου για την ΟΠΕΡ. Το κείμενο πρέπει να αναγνωστεί υπό το φως του προλόγου, που περιγράφει το σκοπό του κειμένου και τη χρήση του.

Στα πλαίσια της ΟΠΕΡ, η βιομηχανική ψύξη έχει χαρακτηριστεί ως οριζόντιο θέμα. Αυτό σημαίνει ότι στο παρόν κείμενο, οι "Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές" (ΒΔΤ) αξιολογούνται χωρίς να υπεισερχόμαστε εις βάθος στη βιομηχανική διαδικασία στην οποία γίνεται χρήση ψύξης. Παρά ταύτα, οι ΒΔΤ για ένα ψυκτικό σύστημα εξετάζονται στα πλαίσια των ψυκτικών απαιτήσεων της βιομηχανικής διεργασίας. Αναγνωρίζεται ότι οι ΒΔΤ για ψύξη σε μια διεργασία είναι ένα πολύπλοκο θέμα στο οποίο υπεισέρχονται οι ψυκτικές απαιτήσεις της διεργασίας, οι εξαρτώμενοι από την τοποθεσία παράγοντες και οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις, πράγμα το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή τους υπό οικονομικώς και τεχνικώς βιώσιμες συνθήκες.

Ο όρος "βιομηχανικά ψυκτικά συστήματα" αναφέρεται σε συστήματα απομάκρυνσης πλεονάζουσας θερμότητας από οποιοδήποτε μέσο, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της θερμικής εναλλαγής με νερό και/ή αέρα, για να κατέλθει η θερμοκρασία του μέσου αυτού σε επίπεδα περιβάλλοντος.

Στο παρόν κείμενο, περιγράφονται ΒΔΤ για ψυκτικά συστήματα, τα οποία θεωρούνται ότι λειτουργούν ως βοηθητικά συστήματα για την ομαλή λειτουργία μιας βιομηχανικής διεργασίας. Είναι παραδεδομένο ότι η αξιόπιστη λειτουργία ενός ψυκτικού συστήματος επηρεάζει θετικά την αξιοπιστία της βιομηχανικής διεργασίας. Ωστόσο, στο παρόν κείμενο, δεν καλύπτεται η λειτουργία των ψυκτικών συστημάτων σε σχέση με την ασφάλεια της διεργασίας.

Το παρόν κείμενο παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση προσδιορισμού ΒΔΤ για βιομηχανικά ψυκτικά συστήματα, αναγνωρίζοντας ότι η τελική ΒΔΤ λύση είναι ένα θέμα εξαρτώμενο, κυρίως, από την τοποθεσία. Όσον αφορά την επιλογή ψυκτικού συστήματος, η προσέγγιση αυτή μπορεί περιστραφεί μόνο γύρω από το ποια στοιχεία συνδέονται με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του ψυκτικού συστήματος, και όχι γύρω από την επιλογή και αποδοχή ή απόρριψη οποιοδήποτε από τα εφαρμοζόμενα ψυκτικά συστήματα. Όπου εφαρμόζονται μέτρα μείωσης, η προσέγγιση για τις ΒΔΤ προσπαθεί να φωτίσει τις σχετικές περιβαλλοντικές διασυστηματικές επιδράσεις, δίνοντας έτσι έμφαση στο γεγονός ότι η μείωση των διαφόρων εκπομπών ψυκτικών συστημάτων χρειάζεται εξισορρόπηση.

Τα πέντε κεφάλαια του κύριου κειμένου περιγράφουν την προσέγγιση ΒΔΤ, τα βασικά της σημεία και αρχές, τα ψυκτικά συστήματα και τις περιβαλλοντικές τους πτυχές, τα βασικά ευρήματα για τις ΒΔΤ και τα συμπεράσματα και συστάσεις για μελλοντική εργασία. Σε ένδεκα παραρτήματα παρέχονται βασικές πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένες πτυχές σχεδιασμού και λειτουργίας ψυκτικών συστημάτων και παραδείγματα για να δοθεί μια εικόνα της προσέγγισης ΒΔΤ.

1. Ολοκληρωμένη προσέγγιση

Η ολοκληρωμένη προσέγγιση ΒΔΤ εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του ψυκτικού συστήματος στα πλαίσια των όλων περιβαλλοντικών επιδόσεων μιας βιομηχανικής διεργασίας. Στοχεύει στην ελαχιστοποίηση τόσο των έμμεσων, όσο και των άμεσων επιπτώσεων της λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος. Βασίζεται στο εξ εμπειρίας βεβαιωμένο γεγονός ότι οι περιβαλλοντικές επιδόσεις της ψυκτικής διαδικασίας σε μια διεργασία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή και το σχεδιασμό του ψυκτικού συστήματος. Συνεπώς, για νέες εγκαταστάσεις, η προσέγγιση εστιάζεται στην πρόληψη των εκπομπών μέσω επιλογής κατάλληλης ψυκτικής διάταξης και σωστού σχεδιασμού και κατασκευής του ψυκτικού

συστήματος. Περαιτέρω μείωση των εκπομπών επιτυγχάνεται και μέσω βελτιστοποίησης της καθ' ημέρα λειτουργίας.

Για τα υφιστάμενα ψυκτικά συστήματα, οι σε βραχυπρόθεσμη βάση δυνατότητες για πρόληψη μέσω τεχνολογικών μέτρων είναι λιγότερες και έτσι δίνεται έμφαση στη μείωση των εκπομπών μέσω βελτιστοποίησης της λειτουργίας και ελέγχου των συστημάτων. Στα υφιστάμενα συστήματα, έχουν εφαρμογή πολλές και διάφορες παράμετροι όπως ο χώρος, η διαθεσιμότητα λειτουργικών πόρων και οι υφιστάμενοι νομοθετικοί περιορισμοί, οι οποίες αφήνουν πολύ μικρό βαθμό ελευθερίας κινήσεων για αλλαγές. Ωστόσο, η γενική προσέγγιση ΒΔΤ στο παρόν κείμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένας μακροπρόθεσμος στόχος, ο οποίος, στην περίπτωση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, παρέχει τη δυνατότητα αντιμετώπισης του προβλήματος μέσα από τους κύκλους αντικατάστασης του εξοπλισμού.

Η προσέγγιση ΒΔΤ αναγνωρίζει ότι η ψύξη είναι ένα ουσιαστικό τμήμα πολλών βιομηχανικών διεργασιών και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως ένα σημαντικό στοιχείο στο όλο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Η αποδοτική χρήση της ενέργειας στις βιομηχανικές διεργασίες είναι κάτι πολύ σημαντικό από άποψη περιβάλλοντος και αποδοτικότητας. Πρώτα απ' όλα, ΒΔΤ σημαίνει ότι πρέπει να δίδεται προσοχή στην όλη ενεργειακή αποδοτικότητα της βιομηχανικής ή κατασκευαστικής διεργασίας, πριν ληφθούν μέτρα βελτιστοποίησης του ψυκτικού συστήματος. Για την αύξηση της όλης ενεργειακής αποδοτικότητας, η βιομηχανία στοχεύει στη μείωση των ποσοτήτων της μη ανακτώμενης θερμότητας εφαρμόζοντας σωστή ενεργειακή διαχείριση και υιοθετώντας μια σειρά ολοκληρωμένων προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Σε αυτό περιλαμβάνεται η εναλλαγή ενέργειας μεταξύ διαφόρων μονάδων στα πλαίσια της υπό ψύξη εκτελούμενης βιομηχανικής ή κατασκευαστικής διεργασίας, καθώς επίσης και η αποκατάσταση σύνδεσης εκτός της υπόψη διεργασίας με προσκείμενες διεργασίες. Υπάρχει η τάση επικράτησης μιας αντίληψης ανάκτησης θερμότητας για βιομηχανικές περιοχές όταν οι βιομηχανικές τοποθεσίες διασυνδέονται ή συνδέονται με συστήματα περιφερειακής θέρμανσης ή θερμοκηπίων. Όπου δεν είναι δυνατή η περαιτέρω ανάκτηση και αναχρησιμοποίηση αυτής της θερμότητας, αυτή πρέπει να απελευθερώνεται στο περιβάλλον.

Υφίσταται μια διάκριση μεταξύ χαμηλού επιπέδου (10-25°C), μέσου επιπέδου (25-60°C) και υψηλού επιπέδου (60°C) μη ανακτήσιμης θερμότητας. Γενικά, τα συστήματα ψύξεως με υγρά εφαρμόζονται για χαμηλού επιπέδου θερμότητα ενώ τα ξηρά συστήματα ψύξεως για υψηλού επιπέδου θερμότητα. Για το μέσο επίπεδο, δεν υπάρχει κάποια προτιμώμενη μεμονωμένη αρχή ψύξης και μπορεί να βρεθούν διάφοροι συνδυασμοί.

Μετά τη βελτιστοποίηση της όλης ενεργειακής απόδοσης της βιομηχανικής ή κατασκευαστικής διεργασίας, παραμένει πάντοτε ένα δεδομένο ποσό και επίπεδο μη ανακτήσιμης θερμότητας και για τη διάχυση αυτής της θερμότητας μπορεί να γίνει μια πρώτη επιλογή, σταθμίζοντας:

- τις ψυκτικές απαιτήσεις της διεργασίας,
- τους λόγω τοποθεσίας περιορισμούς (συμπεριλαμβανομένης και της τοπικής νομοθεσίας) και
- τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις.

Για να διασφαλίζονται αξιόπιστες συνθήκες διεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της εκκίνησης και του σταματήματος, πρέπει να πληρούνται πάντοτε οι ψυκτικές απαιτήσεις της βιομηχανικής ή κατασκευαστικής διεργασίας. Πρέπει, ανά πάσα στιγμή, να διασφαλίζεται η απαιτούμενη ελάχιστη θερμοκρασία διεργασίας και η απαιτούμενη ψυκτική ικανότητα έτσι ώστε να ενισχύεται η αποδοτικότητα της βιομηχανικής ή κατασκευαστικής διεργασίας και να μειώνεται η απώλεια προϊόντος και οι εκπομπές στο περιβάλλον. Όσο περισσότερο ευαίσθητες είναι οι διεργασίες αυτές στη θερμοκρασία, τόσο σπουδαιότερο ρόλο παίζουν τα ανωτέρω αναφερόμενα.

Οι λόγω τοποθεσίας συνθήκες περιορίζουν τις επιλογές σχεδιασμού και τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να λειτουργεί ένα ψυκτικό σύστημα. Οι συνθήκες αυτές καθορίζονται από το τοπικό κλίμα, από τη διαθεσιμότητα νερού για ψύξη και απόρριψη, από το διαθέσιμο χώρο για κατασκευές και από την ευαισθησία της περιβάλλουσας περιοχής στις εκπομπές.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της προς ψύξη διεργασίας και την απαιτούμενη ψυκτική ικανότητα, η επιλογή τοποθεσίας για μια νέα εγκατάσταση μπορεί να είναι πολύ σημαντική (π.χ. ύπαρξη μεγάλης πηγής κρύου νερού). Όπου η επιλογή τοποθεσίας κατευθύνεται από άλλα κριτήρια, ή στην περίπτωση υφιστάμενων ψυκτικών συστημάτων, οι ψυκτικές απαιτήσεις της διεργασίας και τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας είναι καθορισμένα.

Για την ψύξη, το τοπικό κλίμα παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς επηρεάζει την τελική θερμοκρασία του ύδατος ή αέρα ψύξεως. Το τοπικό κλίμα χαρακτηρίζεται από τη μορφή των υπό υγρές και ξηρές συνθήκες θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Γενικά, τα ψυκτικά συστήματα σχεδιάζονται έτσι ώστε να πληρούν τις ψυκτικές απαιτήσεις υπό τις ελάχιστες ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες που μπορούν να απαντηθούν τοπικά, δηλ. με τις μέγιστες υπό υγρές και ξηρές συνθήκες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Το επόμενο βήμα στην επιλογή και σχεδιασμό των ψυκτικών συστημάτων στοχεύει στην εκπλήρωση των απαιτήσεων ΒΔΤ, στα πλαίσια των απαιτήσεων της υπόψη διεργασίας και των εκ της τοποθεσίας περιορισμών. Αυτό σημαίνει ότι η έμφαση εδώ δίνεται στην επιλογή του κατάλληλου υλικού και εξοπλισμού για τη μείωση των απαιτήσεων συντήρησης, τη διευκόλυνση της λειτουργίας του ψυκτικού συστήματος και την πραγμάτωση των περιβαλλοντικών απαιτήσεων. Πέραν της απελευθέρωσης θερμότητας στο περιβάλλον, μπορεί να υπάρξουν και άλλες επιδράσεις στο περιβάλλον όπως η εκπομπή προσθέτων που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση των ψυκτικών συστημάτων. Τονίζεται ότι, όπου μπορεί να μειωθεί το ποσό και το επίπεδο της προς διάχυση θερμότητας, οι προκύπτουσες επιπτώσεις από το βιομηχανικό ψυκτικό σύστημα στο περιβάλλον είναι μικρότερες.

Οι αρχές της προσέγγισης ΒΔΤ μπορούν να εφαρμοστούν και σε υφιστάμενα ψυκτικά συστήματα. Μπορεί να υπάρχουν διαθέσιμες τεχνολογικές επιλογές, όπως η αλλαγή της ψυκτικής τεχνολογίας ή η αλλαγή ή τροποποίηση του υπάρχοντος εξοπλισμού ή των χρησιμοποιούμενων χημικών, όλα αυτά όμως μπορούν να εφαρμοστούν σε περιορισμένη μόνο κλίμακα.

2. Εφαρμοζόμενα ψυκτικά συστήματα

Τα ψυκτικά συστήματα βασίζονται σε θερμοδυναμικές αρχές και σχεδιάζονται για την προαγωγή της εναλλαγής θερμότητας μεταξύ διεργασίας και ψυκτικού μέσου και για τη διευκόλυνση της απελευθέρωσης μη ανακτήσιμης θερμότητας στο περιβάλλον. Τα βιομηχανικά ψυκτικά συστήματα μπορούν να καταταγούν σε κατηγορίες ανάλογα με το σχεδιασμό τους και τη βασική αρχή ψύξης: χρήση νερού ή αέρα, ή συνδυασμός νερού και αέρα ως ψυκτικού μέσου. Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ μέσου διεργασίας και ψυκτικού ενισχύεται από εναλλάκτες θερμότητας. Από τους εναλλάκτες θερμότητας, το ψυκτικό μεταφέρει τη θερμότητα στο περιβάλλον. Σε ανοικτά συστήματα, το ψυκτικό είναι σε επαφή με το περιβάλλον. Σε κλειστά συστήματα, το ψυκτικό ή το μέσο διεργασίας κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνες ή σερπαντίνες και δεν βρίσκεται σε ανοικτή επαφή με το περιβάλλον.

Σε μεγάλης δυναμικότητας εγκαταστάσεις, που βρίσκονται σε τοποθεσίες που είναι δέκτες επιφανειακών υδάτων και διαθέτουν επαρκείς ποσότητες νερού ψύξεως, χρησιμοποιούνται συνήθως συστήματα απλής διέλευσης. Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμες αξιόπιστες πηγές υδάτων, τότε χρησιμοποιούνται συστήματα ανακυκλοφορίας νερού (πύργοι ψύξεως).

Σε ανοικτούς πύργους ανακυκλοφορίας, το νερό ψύξεως ψύχεται δι' επαφής με ρεύμα αέρα. Οι πύργοι είναι εφοδιασμένοι με διατάξεις βελτίωσης της επαφής αέρα/νερού. Το ρεύμα αέρα μπορεί να δημιουργηθεί με μηχανικό ελκυσμό, χρησιμοποιώντας ανεμιστήρες, ή με φυσικό ελκυσμό. Οι πύργοι μηχανικού ελκυσμού χρησιμοποιούνται ευρέως για μικρές και μεγάλες δυναμικότητες. Οι πύργοι φυσικού ελκυσμού χρησιμοποιούνται, κυρίως, για μεγάλες δυναμικότητες (π.χ. εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής).

Σε κλειστά κυκλώματα, ψύχονται οι σωλήνες ή οι σερπαντίνες στις οποίες κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο ή το μέσο διεργασίας, με τη σειρά τους δε ψύχουν την ουσία την οποία

περιέχουν. Στα συστήματα με υγρό, ρεύμα αέρα ψύχει δι' εξατμίσεως τους σωλήνες ή τις σερπαντίνες που ψεκάζονται με νερό. Σε ξηρά συστήματα, από τους σωλήνες/σερπαντίνες διέρχεται μόνο ρεύμα αέρα. Σε αμφοτέρους τις περιπτώσεις, οι σερπαντίνες μπορεί να είναι εφοδιασμένες με πτερύγια, με αποτέλεσμα να διευρύνεται η επιφάνεια ψύξεως και να ενισχύεται το ψυκτικό αποτέλεσμα. Στη βιομηχανία, για μικρότερες δυναμικότητες, χρησιμοποιούνται ευρέως κλειστά κυκλώματα με υγρό. Η αρχή της ξηράς, με αέρα, ψύξεως απαντάται σε μικρότερες βιομηχανικές, καθώς και σε μεγάλες ηλεκτροπαραγωγικές εγκαταστάσεις στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο επαρκές νερό ή το νερό είναι πολύ ακριβό.

Τα ανοικτά και κλειστά υβριδικά ψυκτικά συστήματα είναι ειδικού σχεδιασμού μηχανικοί πύργοι, με δυνατότητα γρήγης και ξηρής λειτουργίας, για τη μείωση σχηματισμού ορατών τολυπών. Με την υπάρχουσα δυνατότητα λειτουργίας των συστημάτων (ιδιαίτερα, των μικρών κυψελοειδούς τύπου μονάδων) ως ξηρών συστημάτων κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, μπορεί να επιτευχθεί μείωση στην ετήσια κατανάλωση νερού και στο σχηματισμό ορατών τολυπών.

Πίνακας 1: Παράδειγμα τεχνικών και θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των διαφόρων ψυκτικών συστημάτων για βιομηχανικές (μη ηλεκτροπαραγωγικές εγκαταστάσεις) εφαρμογές

Ψυκτικό σύστημα	Ψυκτικό μέσο	Βασική αρχή ψύξεως	Ελάχιστες προσεγγίσεις (K) ⁴⁾	Ελάχιστη επιτυγχανόμενη τελική θερμοκρασία του μέσου διεργασίας ⁵⁾ (°C)	Δυναμικότητα της βιομηχανικής διεργασίας (MW _{th})
Ανοικτό απλής διέλευσης σύστημα - άμεσο	Νερό	Αγωγή/Μεταφορά	3 – 5	18 – 20	<0.01 - > 2000
Ανοικτό απλής διέλευσης σύστημα - έμμεσο	Νερό	Αγωγή/Μεταφορά	6 – 10	21 – 25	<0.01 - > 1000
Ανοικτό σύστημα ψύξεως με ανακυκλοφορία - άμεσο	Νερό ¹⁾ Αέρας ²⁾	Εξάτμιση ³⁾	6 – 10	27 – 31	< 0.1 - >2000
Ανοικτό σύστημα ψύξεως με ανακυκλοφορία - έμμεσο	Νερό ¹⁾ Αέρας ²⁾	Εξάτμιση ³⁾	9 – 15	30 – 36	< 0.1 - > 200
Κλειστό κύκλωμα ψύξεως με υγρό	Νερό ¹⁾ Αέρας ²⁾	Εξάτμιση + Μεταφορά	7 – 14 ⁷⁾	28 – 35	0.2 – 10
Κλειστό ξηρό με αέρα κύκλωμα ψύξεως	Αέρας	Μεταφορά	10 – 15	40 – 45	< 0.1 – 100
Ανοικτό υβριδικό σύστημα ψύξεως	Νερό ¹⁾ Αέρας ²⁾	Εξάτμιση + Μεταφορά	7 – 14	28 – 35	0.15 - 2.5 ⁶⁾
Κλειστό υβριδικό σύστημα ψύξεως	Νερό ¹⁾ Αέρας ²⁾	Εξάτμιση + Μεταφορά	7 – 14	28 – 35	0.15 - 2.5 ⁶⁾

Σημειώσεις:
1) Το νερό είναι το δευτερεύον μέσο ψύξεως και κατά βάση ανακυκλώνεται. Το εξατμιζόμενο νερό μεταφέρει τη θερμότητα στον αέρα
2) Μέσο ψύξεως είναι ο αέρας, με τον οποίο η θερμότητα μεταφέρεται στο περιβάλλον
3) Βασική αρχή της ψύξης είναι η εξάτμιση. Η θερμότητα μεταφέρεται επίσης με αγωγή/μεταφορά, αλλά σε μικρότερο ποσοστό
4) Προσεγγίσεις σχετικές με θερμοκρασίες υπό υγρές ή ξηρές συνθήκες
Πρέπει να προστίθενται προσεγγίσεις εναλλάκτη θερμότητας και πύργου ψύξεως
5) Οι τελικές θερμοκρασίες εξαρτώνται από το κλίμα του τόπου (τα δεδομένα ισχύουν για μέσες ευρωπαϊκές κλιματικές συνθήκες 30°/21°C θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό ξηρές/υγρές συνθήκες και μέγιστη θερμοκρασία νερού 15°C
6) Δυναμικότητα μικρών μονάδων - με συνδυασμό διαφόρων μονάδων ή ειδικά σχεδιασμένων συστημάτων ψύξεως, μπορούν να επιτευχθούν συστήματα υψηλότερης δυναμικότητας
7) Όπου εφαρμόζεται έμμεσο σύστημα ή χρησιμοποιείται και μεταφορά, η προσέγγιση στο παράδειγμα αυτό αυξάνει με 3-5K οδηγώντας σε αυξημένη θερμοκρασία διεργασίας

Ο πίνακας δείχνει τα χαρακτηριστικά των εφαρμοζόμενων ψυκτικών συστημάτων για μια δεδομένη κλιματική κατάσταση. Η τελική θερμοκρασία του μέσου διεργασίας μετά την ψύξη στο θερμικό εναλλάκτη εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και από το σχεδιασμό του ψυκτικού συστήματος. Το νερό έχει υψηλότερη ειδική θερμική ικανότητα από τον αέρα και, κατά συνέπεια, είναι καλύτερο ψυκτικό. Η θερμοκρασία του ψυκτικού αέρα και νερού εξαρτάται από τις τοπικές υπό ξηρές και υγρές συνθήκες θερμοκρασίες. Όσο υψηλότερες είναι οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τόσο δυσκολότερη είναι η ψύξη σε χαμηλές τελικές θερμοκρασίες της διεργασίας.

Η τελική θερμοκρασία της διεργασίας είναι το άθροισμα της χαμηλότερης θερμοκρασίας του περιγύρου (ψυκτικού) και της ελάχιστης απαιτούμενης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ψυκτικού (εισερχόμενου στο σύστημα ψύξεως) και μέσου διεργασίας (που αφήνει το σύστημα ψύξεως) στο θερμικό εναλλάκτη, που καλείται επίσης (θερμική) προσέγγιση. Τεχνικώς η προσέγγιση μπορεί να είναι πολύ μικρή βάσει σχεδιασμού, το κόστος όμως είναι αντιστρόφως ανάλογο με το μέγεθος. Όσο μικρότερη είναι η προσέγγιση, τόσο χαμηλότερη μπορεί να είναι η τελική θερμοκρασία της διεργασίας. Κάθε θερμικός εναλλάκτης έχει την προσέγγισή του και, στην περίπτωση πρόσθετων θερμικών εναλλακτών, εν σειρά, όλες οι προσεγγίσεις προστίθενται στη θερμοκρασία του ψυκτικού (που εισέρχεται στο σύστημα ψύξεως) για τον υπολογισμό της επιτεύξιμης τελικής θερμοκρασίας της διεργασίας. Σε συστήματα έμμεσης ψύξεως, όπου χρησιμοποιείται πρόσθετο κύκλωμα ψύξεως, χρησιμοποιούνται πρόσθετοι θερμικοί εναλλάκτες. Το δευτερεύον αυτό κύκλωμα και το πρωτεύον κύκλωμα ψύξεως συνδέονται με θερμικό εναλλάκτη. Συστήματα έμμεσης ψύξεως εφαρμόζονται εκεί όπου πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η διαρροή ουσιών της διεργασίας στο περιβάλλον.

Για τα συνήθως εφαρμοζόμενα στη βιομηχανία ηλεκτροπαραγωγής συστήματα ψύξεως, οι ελάχιστες προσεγγίσεις και οι ικανότητες ψύξεως είναι κάπως διαφορετικές από τις εφαρμογές σε μη ηλεκτροπαραγωγικές εγκαταστάσεις, λόγω των ειδικών απαιτήσεων της διεργασίας συμπύκνωσης ατμού. Οι διάφορες προσεγγίσεις και οι σχετικές ηλεκτροπαραγωγικές ικανότητες συνοψίζονται κατωτέρω.

Πίνακας 2: Παραδείγματα δυναμικότητας και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά διαφόρων ψυκτικών συστημάτων για εφαρμογές σε ηλεκτροπαραγωγικές εγκαταστάσεις

Ψυκτικό σύστημα	Εφαρμοζόμενες προσεγγίσεις (K)	Δυναμικότητα ηλεκτροπαραγωγικής διεργασίας (MW _{th})
Ανοικτά συστήματα απλής διέλευσης	13-20 (τερματική διαφορά 3-5)	< 2700
Ανοικτός πύργος ψύξεως με υγρό	7-15	< 2700
Ανοικτός υβριδικός πύργος ψύξεως	15-20	< 2500
Ξηρός αεροψυχόμενος συμπυκνωτής	15-25	< 900

3. Περιβαλλοντικές πτυχές των εφαρμοσμένων ψυκτικών συστημάτων

Οι περιβαλλοντικές πτυχές των συστημάτων ψύξεως ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμοζόμενη ψυκτική διάταξη, βασικός στόχος όμως είναι η αύξηση της όλης ενεργειακής απόδοσης και η μείωση των εκπομπών στο υδάτινο περιβάλλον. Τα επίπεδα κατανάλωσης και εκπομπών εξαρτώνται πολύ από τον τόπο και όπου είναι δυνατό να εκφραστούν ποσοτικά, δείχνουν μεγάλη διακύμανση. Στη φιλοσοφία μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης ΒΔΤ, στην αξιολόγηση κάθε περιβαλλοντικής πτυχής και των συναφών μέτρων μείωσης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές διασυστηματικές επιδράσεις.

- **Κατανάλωση ενέργειας**

Η ειδική άμεση και έμμεση κατανάλωση ενέργειας είναι μια σημαντική περιβαλλοντική πτυχή, που αφορά όλα τα ψυκτικά συστήματα. Ειδική έμμεση κατανάλωση ενέργειας είναι η ενεργειακή κατανάλωση της υπόψη διεργασίας. Η έμμεση αυτή κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αυξηθεί λόγω υποβαθμισμένης ψυκτικής απόδοσης της εφαρμοζόμενης ψυκτικής διάταξης, πράγμα το οποίο μπορεί να απολήξει σε αύξηση της θερμοκρασίας της διεργασίας (ΔK) και εκφράζεται σε $kW_e/MW_{th}/K$.

Η ειδική άμεση ενεργειακή κατανάλωση ενός ψυκτικού συστήματος εκφράζεται σε kW_e/MW_{th} και αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που καταναλίσκεται από το σύνολο του καταναλίσκοντος ενέργεια εξοπλισμού (αντλίες, ανεμιστήρες) του ψυκτικού συστήματος για κάθε MW_{th} που διαχέει.

Μέτρα για τη μείωση της ειδικής έμμεσης ενεργειακής κατανάλωσης είναι:

- επιλογή ψυκτικής διάταξης με τη χαμηλότερη δυνατή ειδική έμμεση ενεργειακή κατανάλωση (εν γένει, για τα συστήματα απλής διέλευσης),
- εφαρμογή σχεδιασμού με μικρές προσεγγίσεις και
- μείωση της αντίστασης στη θερμική εναλλαγή με σωστή συντήρηση του ψυκτικού συστήματος.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση της βιομηχανίας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, αλλαγή από συστήματα απλής διέλευσης σε συστήματα ανακυκλοφορίας σημαίνει αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για το βοηθητικό εξοπλισμό, καθώς και μείωση της αποδοτικότητας στο θερμικό κύκλο.

Για τη μείωση της ειδικής άμεσης ενεργειακής κατανάλωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαθέσιμες αντλίες και ανεμιστήρες με υψηλότερες αποδόσεις. Η πτώση της αντίστασης και της πίεσης στη διεργασία μπορεί να ελαττωθεί μέσω του σχεδιασμού του ψυκτικού συστήματος και χρήσης χαμηλής αντιστάσεως διατάξεων εξουδετέρωσης της παράσυρσης σταγονιδίων (drift) και πλήρωσης του πύργου. Με σωστό μηχανικό ή χημικό καθαρισμό των επιφανειών, μπορεί να επιτευχθεί χαμηλή αντίσταση στη διεργασία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

• Νερό

Το νερό είναι σημαντικό για υγρά ψυκτικά συστήματα ως πρωτεύον ψυκτικό μέσο, αλλά και ως περιβάλλον υποδοχής για τη διάθεση του νερού ψύξεως. Στις περιπτώσεις εισαγωγής μεγάλων ποσοτήτων νερού, παρατηρείται πρόσκρουση και παράσυρση ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών. Η απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων νερού μπορεί επίσης να έχει επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον, οι επιπτώσεις όμως μπορούν να ελεγχθούν με την σε κατάλληλο σημείο τοποθέτηση του στομίου εισόδου και εξόδου και εκτίμηση της παλιρροϊκής ή της ροής των υδάτων των εκβολών για την εξασφάλιση της ενδεδειγμένης μείξης και οριζόντιας διασποράς των θερμών υδάτων.

Η κατανάλωση νερού ποικίλει από $0.5 \text{ m}^3/\text{h}/MW_{th}$ για έναν ανοικτό υβριδικό πύργο μέχρι και $86 \text{ m}^3/\text{h}/MW_{th}$ για ένα ανοικτό απλής διέλευσης σύστημα. Για να μειωθεί η πρόσληψη των μεγάλων ποσοτήτων νερού από συστήματα απλής διέλευσης απαιτείται αλλαγή προς συστήματα ψύξεως με ανακυκλοφορία, πράγμα το οποίο, ταυτόχρονα, μειώνει την απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού ψύξεως, ενώ μπορεί να μειώσει και τις εκπομπές χημικών και αποβλήτων. Η κατανάλωση νερού από συστήματα ανακυκλοφορίας μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας τον αριθμό των κύκλων, βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού ή βελτιστοποιώντας τη χρήση διαθέσιμων πηγών υδατικών αποβλήτων, εντός και εκτός τόπου της εγκατάστασης. Και οι δυο επιλογές, απαιτούν ένα πολύπλοκο πρόγραμμα επεξεργασίας των υδάτων ψύξεως. Η υβριδική ψύξη, η οποία επιτρέπει την ξηρά ψύξη για ορισμένες περιόδους του χρόνου, με χαμηλότερες απαιτήσεις ψύξεως ή με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση νερού, ιδιαίτερα για μικρές μονάδες κυψελοειδούς τύπου.

Για τη μείωση της παράσυρσης και πρόσκρουσης υδρόβιων οργανισμών, οι εφαρμοζόμενες παρεμβάσεις αφορούν το σχεδιασμό και τη θέση του στομίου εισαγωγής και διαφόρων

διατάξεων (πλέγματα, φράγματα, φως, ήχος). Το αποτέλεσμα των διατάξεων εξαρτάται από τα υδρόβια είδη. Το κόστος είναι υψηλό και τα μέτρα εφαρμόζονται, κατά προτίμηση, σε καταστάσεις χωρίς περιορισμούς. Η μείωση της απαιτούμενης ψυκτικής ικανότητας αυξάνοντας, αν είναι δυνατό, την αναχρησιμοποίηση θερμότητας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές θερμού νερού ψύξεως στα επιφανειακά ύδατα υποδοχής

- **Εκπομπές θερμότητας στα επιφανειακά ύδατα**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι εκπομπές θερμότητας στα επιφανειακά ύδατα μπορεί να έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα επιφανειακά ύδατα υποδοχής. Παράγοντες που επηρεάζουν είναι π.χ. η διαθέσιμη ψυκτική ικανότητα των επιφανειακών υδάτων υποδοχής, η τρέχουσα θερμοκρασία και η οικολογική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων. Οι εκπομπές θερμότητας μπορεί να απολήξουν σε υπέρβαση των ΠΠΠ για τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των θερμών θερινών περιόδων ως συνέπεια των απορρίψεων θερμότητας στα επιφανειακά ύδατα μέσω των υδάτων ψύξεως. Για δύο οικολογικά συστήματα (νερά με σολωμούς και νερά με κυπρίνους) έχουν προσδιοριστεί θερμικές απαιτήσεις στην οδηγία 78/659/ΕΟΚ. Σημασία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θερμικών εκπομπών δεν έχει μόνον η τρέχουσα θερμοκρασία του νερού, αλλά και η αύξηση της θερμοκρασίας στα σύνορα της ζώνης μείξεως ως συνέπεια της θερμικής απόρριψης στο νερό. Το ποσό και το επίπεδο της απορριπτόμενης θερμότητας στα επιφανειακά ύδατα σε συνδυασμό με την έκταση των επιφανειακών υδάτων υποδοχής έχει άμεση σχέση με το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στις περιπτώσεις όπου οι απορρίψεις θερμότητας σε σχετικώς μικρής εκτάσεως επιφανειακά ύδατα και οι στρόβιλοι του θερμού ύδατος φθάνουν στην αντικρινή όχθη του ποταμού ή του καναλιού, αυτό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία εμποδίων στη μετανάστευση των σολωμών.

Εκτός από τις επιδράσεις αυτές, οι υψηλές θερμοκρασίες ως συνέπεια εκπομπών θερμότητας μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη αναπνοή και βιολογική παραγωγή (ευτροφισμός) απολήγοντας σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου στο νερό.

Κατά το σχεδιασμό ενός ψυκτικού συστήματος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ανωτέρω πτυχές και οι δυνατότητες μείωσης της διαχεόμενης θερμότητας στα επιφανειακά ύδατα.

- **Εκπομπές ουσιών σε επιφανειακά ύδατα**

Εκπομπές στα επιφανειακά ύδατα από ψυκτικά συστήματα προκαλούμενες από:

- χρησιμοποιούμενα στο νερό ψύξεως πρόσθετα και προϊόντα αντίδρασής τους,
- αερομεταφερόμενες ουσίες εισερχόμενες μέσω πύργων ψύξεως,
- προϊόντα διάβρωσης παραγόμενα από τη διάβρωση του συστήματος ψύξεως, και
- διαρροή χημικών διεργασίας (προϊόντων) και των εξ αντιδράσεως προϊόντων τους.

Για τη σωστή λειτουργία των ψυκτικών συστημάτων μπορεί να απαιτείται επεξεργασία του νερού ψύξεως κατά της διάβρωσης του εξοπλισμού, της δημιουργίας καθαλατώσεων και οργανικής μικρο- και μακρορύπανσης (micro- και macrofouling). Οι επεξεργασίες διαφέρουν για τα ανοικτά συστήματα απλής διέλευσης και τα συστήματα ψύξης με ανακυκλοφορία. Για τα τελευταία, τα προγράμματα επεξεργασίας του νερού ψύξεως μπορεί να είναι εξαιρετικώς πολύπλοκα και η σειρά των χρησιμοποιούμενων χημικών πολύ μεγάλη. Ως συνέπεια, τα επίπεδα εκπομπών κατά την εκκένωση του περιεχομένου αυτών των συστημάτων δείχνουν επίσης μια μεγάλη διακύμανση και είναι δύσκολο να αναφερθούν αντιπροσωπευτικά επίπεδα εκπομπών. Μερικές φορές, το εκκενούμενο υλικό υποβάλλεται σε επεξεργασία πριν από την απόρριψη.

Οι εκπομπές οξειδωτικών βιοκτόνων από ανοικτά απλής διέλευσης συστήματα, μετρούμενες ως ελεύθερο οξειδωτικό στην έξοδο, ποικίλουν μεταξύ 0.1 [mg FO/l] και 0.5 [mg FO/l], ανάλογα με τη μορφή και τη συχνότητα των προσθηκών.

Πίνακας 3: Χημικά συστατικά επεξεργασιών νερού ψύξεως που χρησιμοποιούνται σε ανοικτά και με ανακυκλοφορία υγρού συστήματα ψύξεως

Παραδείγματα χημικής επεξεργασίας*	Προβλήματα ποιότητας νερού					
	Διάβρωση		Καθαλατώσεις		(Βιο-)ρύπανση	
	Συστήματα απλής διέλευσης	Συστήματα με ανακυκλοφορία	Συστήματα απλής διέλευσης	Συστήματα με ανακυκλοφορία	Συστήματα απλής διέλευσης	Συστήματα με ανακυκλοφορία
Ψευδάργυρος		X				
Μολυβδαινικά		X				
Πυριτικά		X				
Φωσφονικά		X		X		
Πολυφωσφονικά		X		X		
Πολυολ εστέρες				X		
Φυσικά οργανικά				X		
Πολυμερή	(X)		(X)	X		
Μη οξειδωτικά βιοκτόνα						X
Οξειδωτικά βιοκτόνα					X	X

* τα χρωμικά δεν χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως λόγω των σοβαρών επιπτώσεών τους στο περιβάλλον

Η επιλογή και χρήση ψυκτικού εξοπλισμού κατασκευασμένου από υλικό κατάλληλο για το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί, μπορεί να μειώσει τις διαρροές και τη διάβρωση. Το περιβάλλον αυτό χαρακτηρίζεται από:

- τις συνθήκες της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η ταχύτητα ροής,
- το ψυχόμενο μέσο, και
- τα χημικά χαρακτηριστικά του νερού ψύξεως.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για τους θερμικούς εναλλάκτες, τους αγωγούς, τις αντλίες και τα περιβλήματα είναι ανθρακοχάλυβας, χαλκός-νικέλιο και διάφορες ποιότητες ανοξείδωτου χάλυβα, ολοένα όμως και περισσότερο χρησιμοποιείται το τιτάνιο (Ti). Για την προστασία των επιφανειών, χρησιμοποιούνται επίσης επιχρίσματα και βαφές.

• Χρήση βιοκτόνων

Στα ανοικτά απλής διέλευσης συστήματα χρησιμοποιούνται κατ' εξοχή οξειδωτικά βιοκτόνα κατά της μακρορύπανσης. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα μπορεί να εκφραστεί ως ετησίως χρησιμοποιούμενο οξειδωτικό πρόσθετο εκφρασμένο σε ισοδύναμο χλωρίου ανά MW_{th} σε συνδυασμό με το επίπεδο ρύπανσης εντός ή κοντά στο θερμικό εναλλάκτη. Η χρήση αλογόνων ως οξειδωτικών προσθέτων σε συστήματα απλής διέλευσης οδηγεί σε περιβαλλοντική επιβάρυνση λόγω της παραγωγής, πρωτίστως, αλογονωμένων παραπροϊόντων.

Σε ανοικτά συστήματα ανακυκλοφορίας, η προκατεργασία του νερού αποβλέπει στην καταπολέμηση των καθαλατώσεων, της διάβρωσης και της μικρορύπανσης. Με τους σχετικά μικρότερους όγκους των συστημάτων ανακυκλοφορίας υγρών, εφαρμόζονται με επιτυχία εναλλακτικές επεξεργασίες όπως όζον και υπεριώδες φως, απαιτούνται όμως ειδικές συνθήκες διεργασίας και μπορεί να είναι δαπανηρές.

Λειτουργικά μέτρα που μειώνουν τις επιβλαβείς επιδράσεις της απόρριψης υδάτων ψύξεως είναι το κλείσιμο της διάταξης καθαρισμού κατά τη διάρκεια της άμεσης επεξεργασίας και η επεξεργασία των εκκενούμενων υγρών πριν από την απόρριψη στα επιφανειακά ύδατα υποδοχής. Για την επεξεργασία του εκκενούμενου υλικού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υδατικών αποβλήτων πρέπει να παρακολουθείται η παραμένουσα βιοκτόνος δραστηριότητα, καθώς μπορεί να επηρεάσει το μικροβιακό πληθυσμό.

Για τη μείωση των εκπομπών στην απόρριψη και τη μείωση των επιπτώσεων στο υδάτινο περιβάλλον, τα επιλεγόμενα βιοκτόνα επιδιώκεται να συνδυάζουν τις απαιτήσεις των ψυκτικών συστημάτων με την ευαισθησία του υδάτινου περιβάλλοντος υποδοχής.

- **Εκπομπές στον αέρα**

Ο απορριπτόμενος αέρας από πύργους ψύξεως ξηρού κυκλώματος δεν θεωρείται συνήθως ως σοβαρό πρόβλημα. Μόλυνση μπορεί να επέλθει εάν υπάρξει κάποια διαφυγή προϊόντος, με σωστή όμως συντήρηση κάτι τέτοιο μπορεί να προλαμβάνεται.

Τα σταγονίδια στις απορρίψεις των υγρών πύργων ψύξεως μπορεί να είναι μολυσμένα από χημικά επεξεργασίας του νερού, με μικρόβια ή με προϊόντα από διάβρωση. Η χρήση διατάξεων εξουδετέρωσης της παράσυρσης σταγονιδίων και κάποιου βελτιστοποιημένου προγράμματος επεξεργασίας του ύδατος μειώνουν τους δυνητικούς κινδύνους.

Όπου εμφανίζονται φαινόμενα διατάραξης του ορίζοντα ή όπου υφίστανται κίνδυνοι από την επαφή τολυτών με το επίπεδο του εδάφους, τότε λαμβάνεται υπόψη ο σχηματισμός τολυτών.

- **Θόρυβος**

Ο θόρυβος αποτελεί ένα τοπικό πρόβλημα στην περίπτωση των μεγάλων πύργων ψύξεως φυσικού ελκυσμού και σε όλα τα μηχανικά συστήματα ψύξεως. Τα επίπεδα των μη εξασθενημένων θορύβων ποικίλουν μεταξύ 70 για το φυσικό ελκυσμό και περίπου 120 [dB(A)] για τους μηχανικούς πύργους. Οι διακυμάνσεις οφείλονται σε διαφορές στον εξοπλισμό και στη θέση μέτρησης καθώς διαφέρουν μεταξύ αέρα εισόδου και αέρα εξόδου. Βασικές πηγές του θορύβου είναι οι ανεμιστήρες, οι αντλίες και το πίπτον ύδωρ.

- **Πτυχές κινδύνου**

Οι κίνδυνοι από τα συστήματα ψύξεως έχουν σχέση με διαρροές από τους θερμικούς εναλλάκτες, με την αποθήκευση χημικών και με μικροβιακές μολύνσεις (όπως η νόσος των λεγεωναριών) από υγρά ψυκτικά συστήματα.

Μέτρα εφαρμογής για την πρόληψη των διαρροών, καθώς και των μικροβιακών μολύνσεων, αποτελούν η προληπτική συντήρηση και παρακολούθηση. Όπου οι διαρροές μπορεί να οδηγήσουν σε απορρίψεις μεγάλων ποσοτήτων επιβλαβών ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον, εξετάζεται η χρήση συστημάτων έμμεσης ψύξεως ή η λήψη ειδικών προληπτικών μέτρων.

Για την πρόληψη της ανάπτυξης *Legionellae pneumophila (Lp)*, συνιστάται η εφαρμογή κάποιου κατάλληλου προγράμματος επεξεργασίας του νερού. Ανώτερα όρια συγκεντρώσεως για *Lp*, μετρούμενα σε μονάδες σχηματισμού αποικιών [CFU ανά λίτρο], κάτω από τα οποία να θεωρείται ως μη αναμενόμενη η εμφάνιση κινδύνου, δεν μπορούν να θεσπιστούν. Ο κίνδυνος πρέπει να αντιμετωπίζεται ιδιαίτερα κατά τις εργασίες συντηρήσεως.

- **Υπολείμματα από τη λειτουργία ψυκτικών συστημάτων**

Οι αναφορές σχετικά με υπολείμματα ή απόβλητα είναι πολύ λίγες. Οι λάσπες από την προκατεργασία νερού ψύξεως ή από τη λεκάνη των πύργων ψύξεως πρέπει να θεωρούνται ως απόβλητα. Αυτές υποβάλλονται σε κατεργασία και διατίθενται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες και τη χημική σύσταση. Τα επίπεδα συγκέντρωσης ποικίλουν με το πρόγραμμα επεξεργασίας του νερού ψύξεως.

Οι περιβαλλοντικές εκπομπές μειώνονται περαιτέρω με την εφαρμογή λιγότερο επιβλαβών μεθόδων συντήρησης για εξοπλισμό και με την επιλογή υλικού που να μπορεί να

ανακυκλώνεται σε περίπτωση παροπλισμού ή αντικατάστασης του εξοπλισμού του ψυκτικού συστήματος.

4. Βασικά συμπεράσματα ΒΔΤ

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι ΒΔΤ ή η πρωτεύουσα προσέγγιση ΒΔΤ για νέα και υφιστάμενα συστήματα. Τα ευρήματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

Αναγνωρίζεται ότι η τελική λύση ΒΔΤ πρέπει να είναι λύση εξαρτώμενη από τον τόπο, για ορισμένα όμως θέματα μπορούν ορισμένες τεχνικές να ταυτοποιηθούν ως γενικές ΒΔΤ. Σε κάθε περίπτωση, πριν να εξεταστεί η διάχυση της θερμότητας από μια βιομηχανική διεργασία στο περιβάλλον, πρέπει να έχουν εξεταστεί οι διαθέσιμες και εφαρμόσιμες επιλογές αναχρησιμοποίησης της θερμότητας και να χρησιμοποιούνται για τη μείωση του ποσού και του επιπέδου της μη ανακτήσιμης θερμότητας.

Για όλες τις εγκαταστάσεις, ΒΔΤ είναι μια τεχνολογία, μέθοδος ή διαδικασία και το αποτέλεσμα μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των βιομηχανικών ψυκτικών συστημάτων, τηρώντας ισορροπία μεταξύ τόσο των άμεσων, όσο και των έμμεσων επιπτώσεων. Τα εξεταζόμενα μέτρα μείωσης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διατηρείται κατ' ελάχιστο η απόδοση του ψυκτικού συστήματος ή η όποια απώλεια απόδοσης να είναι αμελητέα σε σύγκριση με τα θετικά αποτελέσματα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Για έναν αριθμό περιβαλλοντικών πτυχών, έχουν ταυτοποιηθεί τεχνικές οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ΒΔΤ στα πλαίσια της προσέγγισης ΒΔΤ. Δεν έγινε δυνατό να ταυτοποιηθεί κάποια σαφής ΒΔΤ για τη μείωση των αποβλήτων ή για τεχνικές χειρισμού αποβλήτων με ταυτόχρονη αποφυγή περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως η ρύπανση του εδάφους και των υδάτων ή, μετά από αποτέφρωση, του αέρα.

- **Απαιτήσεις διεργασίας και τόπου**

Η επιλογή μεταξύ υγράς, ξηράς και υγράς/ξηράς ψύξης για την εκπλήρωση των απαιτήσεων της διεργασίας και του τόπου θα πρέπει να στοχεύει στη μέγιστη δυνατή συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα. Για την επίτευξη υψηλής γενικής ενεργειακής αποδοτικότητας κατά το χειρισμό μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας χαμηλού επιπέδου (10-25°C), ΒΔΤ αποτελεί η ψύξη με ανοικτά απλής διέλευσης συστήματα. Σε μια χωρίς άλλους περιορισμούς κατάσταση, αυτό μπορεί να δικαιολογήσει την επιλογή (παράκτιας) θέσης με αξιόπιστα μεγάλα ποσά διαθέσιμου νερού ψύξεως και με επιφανειακά ύδατα με επαρκή ικανότητα υποδοχής μεγάλων ποσοτήτων απορριπτόμενου νερού ψύξεως.

Όταν ψύχονται επικίνδυνες ουσίες οι οποίες (εκπεμπόμενες μέσω του ψυκτικού συστήματος) εμπερικλείουν υψηλούς κινδύνους για το περιβάλλον, ως ΒΔΤ θεωρείται η εφαρμογή συστημάτων έμμεσης ψύξεως χρησιμοποιώντας ένα δευτερεύον κύκλωμα ψύξεως.

Κατ' αρχή, η χρήση υπόγειων υδάτων για ψύξη πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο, π.χ. όταν είναι αδύνατο να ελεγχθεί η μείωση των υπόγειων υδάτινων πόρων.

- **Μείωση άμεσης κατανάλωσης ενέργειας**

Χαμηλή άμεση κατανάλωση ενέργειας από το ψυκτικό σύστημα επιτυγχάνεται μειώνοντας την αντίσταση στο νερό και/ή στον αέρα στο ψυκτικό σύστημα, χρησιμοποιώντας χαμηλοενεργειακό εξοπλισμό. Όταν η υπόψη διεργασία απαιτεί μεταβλητή λειτουργία, έχει εφαρμοστεί με επιτυχία η διαμόρφωση της ροής του αέρα και του νερού, η οποία και μπορεί να θεωρηθεί ως ΒΔΤ.

- **Μείωση της κατανάλωσης νερού και μείωση των θερμικών εκπομπών στα ύδατα**

Η μείωση της κατανάλωσης του νερού και η μείωση των θερμικών εκπομπών στα ύδατα συνδέονται στενά μεταξύ τους και έχουν εφαρμογή οι ίδιες τεχνολογικές επιλογές.

Η ποσότητα του απαιτούμενου για ψύξη νερού συνδέεται με το ποσό της διαχεόμενης θερμότητας. Όσο υψηλότερο το επίπεδο αναχρησιμοποίησης του νερού ψύξεως, τόσο χαμηλότερες οι απαιτούμενες ποσότητες νερού ψύξεως.

Η ανακυκλοφορία νερού ψύξεως, χρησιμοποιώντας ανοικτό ή κλειστό σύστημα ανακυκλοφορίας υγρού, αποτελεί ΒΔΤ όταν η διαθεσιμότητα νερού είναι χαμηλή ή αναξιόπιστη.

Στα συστήματα ανακυκλοφορίας, τυχόν αύξηση του αριθμού των κύκλων μπορεί να είναι ΒΔΤ, οι απαιτήσεις όμως από πλευράς επεξεργασίας του νερού ψύξεως μπορεί να είναι περιοριστικός παράγοντας.

Η εφαρμογή διατάξεων εξουδετέρωσης της παράσυρσης (drift) για μείωση του φαινομένου σε λιγότερο από 0.01% του συνόλου της ροής ανακυκλοφορίας αποτελεί ΒΔΤ.

- **Μείωση της παράσυρσης εμβίων**

Πολλές διαφορετικές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την πρόληψη της παράσυρσης ή για τη μείωση της ζημιάς σε περίπτωση παράσυρσης εμβίων. Ο βαθμός επιτυχίας ποίκιλε και εξηρτάτο από τον τόπο. Δεν έχουν ταυτοποιηθεί σαφείς ΒΔΤ, η έμφαση όμως δίδεται στην ανάλυση του βιοτόπου, καθώς η επιτυχία ή η αποτυχία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συμπεριφορά του ζωικού είδους και από το σωστό σχεδιασμό και θέση του σημείου εισόδου του νερού.

- **Μείωση εκπομπών χημικών ουσιών στο νερό**

Σύμφωνα με την προσέγγιση ΒΔΤ, η εφαρμογή των δυναμικών τεχνικών για τη μείωση των εκπομπών στο υδάτινο περιβάλλον θα πρέπει να εξετάζεται με την ακόλουθη σειρά:

1. επιλογή διάταξης ψύξεως με χαμηλότερο επίπεδο εκπομπών στα επιφανειακά ύδατα,
2. χρήση ανθεκτικότερων στη διάβρωση υλικών για τον ψυκτικό εξοπλισμό,
3. πρόληψη και μείωση διαφυγών ουσιών διεργασίας στο ψυκτικό κύκλωμα,
4. εφαρμογή εναλλακτικής (μη χημικής) επεξεργασίας του νερού ψύξεως,
5. επιλογή προσθέτων για το νερό ψύξεως με σκοπό τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, και
6. βελτιστοποιημένη εφαρμογή (παρακολούθηση και δοσολογία) των προσθέτων του νερού ψύξεως.

Η ΒΔΤ μειώνει την ανάγκη ρύθμισης του νερού ψύξεως, μειώνοντας τη συχνότητα εμφάνισης οργανικής ρύπανσης και διάβρωσης μέσω σωστού σχεδιασμού. Σε συστήματα απλής διέλευσης, σωστός σχεδιασμός είναι η αποφυγή ζωνών με στάσιμα νερά ή στροβίλους και η διατήρηση μιας ελάχιστης ταχύτητας του νερού (0.8 [m/s] για τους θερμικούς εναλλάκτες, 1.5 [m/s] για τους συμπυκνωτές).

Μια ΒΔΤ είναι η επιλογή υλικών για συστήματα απλής διέλευσης σε λίαν διαβρωτικό περιβάλλον, που να περιέχουν Ti ή υψηλής ποιότητας ανοξείδωτο χάλυβα ή άλλα υλικά με παρόμοια συμπεριφορά, όπου τυχόν αναγωγικό περιβάλλον μπορεί να περιορίσει τη χρήση Ti.

Σε συστήματα ανακυκλοφορίας, εκτός από τα μέτρα σχεδιασμού, ΒΔΤ αποτελεί και η ταυτοποίηση των εφαρμοζόμενων κύκλων συμπύκνωσης και η διαβρωτικότητα της ουσίας διεργασίας για να μπορεί να γίνει επιλογή υλικού με κατάλληλη αντοχή στη διάβρωση.

ΒΔΤ για πύργους ψύξεως αποτελεί η εφαρμογή κατάλληλων τύπων διατάξεων πλήρωσης ανάλογα με την ποιότητα του νερού (περιεκτικότητα σε στερεά), την αναμενόμενη βιορύπανση, τις θερμοκρασίες και την αντοχή σε διάβρωση, καθώς και η επιλογή υλικού κατασκευής το οποίο να μη χρειάζεται χημική συντήρηση.

Η ιδέα του VCI που εφαρμόζεται από τη χημική βιομηχανία στοχεύει σε ελαχιστοποίηση των κινδύνων για το υδάτινο περιβάλλον σε περίπτωση διαφυγής ουσιών διεργασίας. Η ιδέα συνδέει το επίπεδο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας ουσίας διεργασίας με την απαιτούμενη διάταξη ψύξεως και απαιτήσεις παρακολούθησης. Σύμφωνα με την ιδέα αυτή, τυχόν μεγαλύτεροι δυνητικοί κίνδυνοι για το περιβάλλον στην περίπτωση διαφυγών απαιτούν βελτίωση της αντιδιαβρωτικότητας, σχεδιασμό έμμεσης ψύξης και αυξημένο επίπεδο παρακολούθησης του νερού ψύξεως.

- **Μείωση των εκπομπών με βελτιστοποιημένη επεξεργασία του νερού ψύξεως**

Βελτιστοποίηση της χρήσης οξειδωτικών βιοκτόνων σε συστήματα απλής διέλευσης σημαίνει παρέμβαση στο χρονισμό και συχνότητα της προσθήκης του βιοκτόνου. Θεωρείται ως ΒΔΤ η μείωση της προσθήκης βιοκτόνων με επικεντρωμένη προσθήκη σε συνδυασμό με την παρακολούθηση της συμπεριφοράς ειδών που προκαλούν μακρορύπανση (π.χ. κίνηση των βαλβίδων των μυδιών) και χρήση του χρόνου παραμονής του νερού ψύξεως στο σύστημα. Για συστήματα όπου στην έξοδο αναμειγνύονται διάφορα ψυκτικά ρεύματα, η παλμικώς εναλλασσόμενη χλωρίωση είναι ΒΔΤ και μπορεί να μειώσει ακόμη περισσότερο τις συγκεντρώσεις των ελεύθερων οξειδωτικών στην απόρριψη. Γενικά, η ασυνεχής επεξεργασία συστημάτων απλής διέλευσης είναι επαρκής για την πρόληψη της βιορύπανσης. Ανάλογα με το είδος και τη θερμοκρασία του νερού (πάνω από 10-12°C) μπορεί να είναι αναγκαία η συνεχής επεξεργασία σε χαμηλά επίπεδα.

Για το θαλασσινό νερό, τα συνδεδεμένα με ΒΔΤ επίπεδα ελεύθερων παραμενόντων οξειδωτικών (ΕΠΟ) στην απόρριψη, ποικίλουν ανάλογα με το εφαρμοζόμενο σύστημα προσθήκης (συνεχής ή ασυνεχής) και το επίπεδο συγκεντρώσεων των δόσεων, καθώς και με τη διάταξη του συστήματος ψύξεως. Τα επίπεδα κυμαίνονται από ≤ 0.1 [mg/l] έως 0.5 [mg/l], με την τιμή των 0.2 [mg/l] ως 24-ωρο μέσον όρο.

Ένα σημαντικό στοιχείο στην εισαγωγή μιας βασιζόμενης σε ΒΔΤ προσέγγισης στην επεξεργασία του νερού, είναι η λήψη ενημερωμένων αποφάσεων σχετικά με το είδος του προς εφαρμογή συστήματος επεξεργασίας νερού και πώς θα πρέπει να ελέγχεται και να παρακολουθείται. Η επιλογή κατάλληλου καθεστώτος επεξεργασίας είναι μια πολύπλοκη εργασία, η οποία πρέπει να λαμβάνει υπόψη της διάφορους τοπικούς και ειδικούς ως προς την τοποθεσία παράγοντες, και να τους συσχετίζει με τα χαρακτηριστικά αυτών τούτων των προσθέτων επεξεργασίας, και τις ποσότητες και συνδυασμούς υπό τους οποίους χρησιμοποιούνται.

Για την υποβοήθηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για τα πρόσθετα του νερού ψύξεως σε τοπικό επίπεδο, το BREF επιδιώκει να παράσχει στις υπεύθυνες για την έκδοση μιας άδειας ΟΠΕΡ τοπικές αρχές μια σκιαγράφιση αξιολόγησης.

Η οδηγία 98/8/ΕΚ για τα βιοκτόνα ρυθμίζει τη διάθεση στην ευρωπαϊκή αγορά των βιοκτόνων και θεωρεί ως μια ειδική κατηγορία τα βιοκτόνα που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ψύξεως. Η ανταλλαγή πληροφοριών δείχνει ότι σε ορισμένα κράτη μέλη υφίστανται ειδικά συστήματα αξιολόγησης για τη χρήση προσθέτων στο νερό ψύξεως.

Η συζήτηση στα πλαίσια της ανταλλαγής πληροφοριών για τα βιομηχανικά συστήματα ψύξεως κατέληξε σε δύο προτάσεις για τα πρόσθετα του νερού ψύξεως, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικό εργαλείο από τις αρχές αδειοδότησης:

1. Αξιολόγηση προσανατολισμού με βάση τις υφιστάμενες αντιλήψεις, η οποία παρέχει τη δυνατότητα απλής σχετικής σύγκρισης των προσθέτων του νερού ψύξεως από πλευράς των

δυναμικών τους επιπτώσεων στο υδάτινο περιβάλλον (Αξιολόγηση ως προς σημείο αναφοράς, Παράρτημα VIII.1).

2. Ειδική ως προς την τοποθεσία αξιολόγηση των αναμενόμενων επιπτώσεων των βιοκτόνων που απορρίπτονται στο νερό υποδοχής, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οδηγίας για τα βιοκτόνα και χρησιμοποιώντας ως βασικά στοιχεία τη μεθοδολογία της καθιέρωσης Περιβαλλοντικών Προτύπων Ποιότητας (ΠΠΠ) της μελλοντικής οδηγίας πλαίσιο για τα ύδατα (Τοπική αξιολόγηση των βιοκτόνων, Παράρτημα VIII.2).

Η αξιολόγηση ως προς σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως μέθοδος σύγκρισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων εναλλακτικών προσθέτων του νερού ψύξεως ενώ η τοπική αξιολόγηση των βιοκτόνων αποτελεί μέτρο για τον προσδιορισμό μιας συμβατικής προσέγγισης ΒΔΤ για τα βιοκτόνα, ειδικότερα (PEC/PNEC <1). Η χρήση μεθοδολογιών τοπικής αξιολόγησης ως εργαλείο ελέγχου των βιομηχανικών εκπομπών είναι ήδη μια κοινή πρακτική.

- **Μείωση των εκπομπών στον αέρα**

Η μείωση των επιπτώσεων των εκπομπών στον αέρα από τη λειτουργία πύργων ψύξεως συνδέεται με τη βελτιστοποίηση της σταθερής συμπεριφοράς του νερού ψύξεως για τη μείωση των συγκεντρώσεων στα σταγονίδια. Όπου βασικός μηχανισμός μεταφοράς είναι η παράσυρση (drift), η εφαρμογή διατάξεων εξουδετέρωσης που απολήγουν στο να παρασύρεται λιγότερο από το 0.01% της ροής ανακυκλοφορίας, θεωρείται ως ΒΔΤ.

- **Μείωση του θορύβου**

Ως πρωτογενή μέτρα θεωρείται η χρήση εξοπλισμού χαμηλού θορύβου. Τα σχετικά επίπεδα μείωσης φθάνουν μέχρι 5 [dB(A)].

Δευτερογενή μέτρα στην είσοδο και έξοδο μηχανικών πύργων ψύξεως έχουν ως αποτέλεσμα επίπεδα μείωσης τουλάχιστον 15 [dB(A)] ή και περισσότερο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση του θορύβου, ιδιαίτερα με δευτερογενή μέτρα, μπορεί να οδηγήσει σε πτώση πίεσεως, πράγμα το οποίο χρειάζεται πρόσθετη ενέργεια για αντιστάθμιση.

- **Μείωση διαφυγών και μικροβιολογικών κινδύνων**

ΒΔΤ είναι: η πρόληψη διαφυγών βάσει σχεδιασμού, βάσει λειτουργίας στα πλαίσια του σχεδιασμού και τακτικής επιθεώρησης του συστήματος ψύξεως.

Για τη χημική βιομηχανία ειδικότερα, θεωρείται ως ΒΔΤ η εφαρμογή της αντίληψης της ασφάλειας VCI όπως έχει αναφερθεί πριν για τη μείωση των εκπομπών στο νερό.

Η εμφάνιση σε ένα ψυκτικό σύστημα *Legionella pneumophila* δεν μπορεί να προληφθεί πλήρως. Θεωρείται ως ΒΔΤ η εφαρμογή των ακόλουθων μέτρων:

- αποφυγή υπέρψυξης ζωνών με λιμνάζοντα ύδατα και η διατήρηση ικανής ταχύτητας νερού,
- η βελτιστοποίηση της επεξεργασίας νερού ψύξεως για τη μείωση της ανάπτυξης οργανικής ρύπανσης, φυκών και αμοιβάδων και πολλαπλασιασμό τους,
- η εφαρμογή περιοδικού καθαρισμού της λεκάνης του πύργου ψύξεως και
- η μείωση της αναπνευστικής ευπάθειας των χειριστών με την παροχή προστατευτικών μέσων για το θόρυβο και το στόμα, κατά την είσοδο σε μια λειτουργούσα μονάδα ή κατά τον με υψηλή πίεση καθαρισμό του πύργου.

5. Διάκριση μεταξύ νέων και υφιστάμενων συστημάτων

Στα νέα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν όλα τα βασικά συμπεράσματα ΒΔΤ. Όπου αυτό σημαίνει τεχνολογικές αλλαγές, η εφαρμογή ενδέχεται να μην μπορεί να εφαρμοστεί για

υφιστάμενα ψυκτικά συστήματα. Για μικρούς πύργους ψύξεως παραγόμενους εν σειρά, μια αλλαγή στην τεχνολογία θεωρείται ως τεχνικώς και οικονομικώς εφικτή. Οι τεχνολογικές αλλαγές για μεγάλα συστήματα είναι γενικά δαπανηρές απαιτώντας πολύπλοκη τεχνική και οικονομική αξιολόγηση που περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό παραγόντων. Κάποιες σχετικώς μικρές προσαρμογές στα μεγάλα αυτά συστήματα, τροποποιώντας μέρος του εξοπλισμού, μπορεί να είναι εφικτές σε ορισμένες περιπτώσεις. Για μεγαλύτερες τεχνολογικές αλλαγές, μπορεί να είναι αναγκαία μια λεπτομερής θεώρηση και αξιολόγηση της επίδρασης στο περιβάλλον και του κόστους.

Γενικά, οι ΒΔΤ για νέα και υφιστάμενα συστήματα είναι παρόμοιες, όταν στόχος είναι η μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον με βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος. Η βελτίωση αναφέρεται:

- σε βελτιστοποίηση της επεξεργασίας του νερού ψύξεως με ελεγχόμενη προσθήκη και επιλογή προσθέτων νερού ψύξεως στοχεύοντας στη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον,
- σε τακτική συντήρηση του εξοπλισμού, και
- σε παρακολούθηση λειτουργικών παραμέτρων, όπως ο ρυθμός διάβρωσης της επιφάνειας του θερμικού εναλλάκτη, η χημεία του νερού ψύξεως και ο βαθμός οργανικής ρύπανσης και διαρροών.

Παραδείγματα τεχνικών που θεωρούνται ως ΒΔΤ για υφιστάμενα συστήματα ψύξεως είναι:

- χρήση κατάλληλης πληρωτικής διάταξης για αντιμετώπιση της βιολογικής ρύπανσης,
- αντικατάσταση του περιστρεφόμενου εξοπλισμού με διατάξεις χαμηλού θορύβου,
- πρόληψη διαρροών με παρακολούθηση των σωληνώσεων του θερμικού εναλλάκτη,
- βιοδιήθηση πλευρικού ρεύματος,
- βελτίωση της ποιότητας του νερού αναπλήρωσης, και
- επικεντρωμένη προσθήκη βιοκτόνων σε συστήματα απλής διέλευσης.

6. Συμπεράσματα και συστάσεις για μελλοντική εργασία

Το παρόν BREF έτυχε ευρείας υποστηρίξεως από την Τεχνική Ομάδα Εργασίας (TOE). Η αξιολόγηση και ταυτοποίηση ΒΔΤ για τη διεργασία της βιομηχανικής ψύξης θεωρείται γενικά ως πολύπλοκη και ιδιαίτερα εξαρτώμενη από την τοποθεσία και τη διεργασία, περιλαμβάνοντας πολλές τεχνικές πτυχές και πτυχές κόστους. Ακόμη, υπάρχει σαφής υποστήριξη στην αντίληψη των γενικών ΒΔΤ για συστήματα ψύξεως με βάση τον πρόλογο του γενικού BREF και την εισαγωγή για τις ΒΔΤ στο κεφάλαιο 4.

Η διαδικασία της ανταλλαγής πληροφοριών αποκάλυψε ορισμένα θέματα όπου χρειάζεται περαιτέρω εργασία όταν αναθεωρηθεί το παρόν BREF. Η τοπική αξιολόγηση της επεξεργασίας του νερού ψύξεως θα απαιτήσει περαιτέρω έρευνα για το πώς πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι σχετικοί παράγοντες και χημικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την τοποθεσία, ταυτόχρονα όμως είναι αναγκαία σαφής καθοδήγηση και εφαρμόσιμη διαδικασία. Άλλοι τομείς ενδιαφέροντος όπου ενδέχεται να χρειαστούν πρόσθετες προσπάθειες είναι εναλλακτικές τεχνικές επεξεργασίας του νερού, η ελαχιστοποίηση του μικροβιολογικού κινδύνου και η σπουδαιότητα των εκπομπών στον αέρα.