



KOMISJA EUROPEJSKA

**Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC)**

**Dokument Referencyjny BAT dla najlepszych dostępnych technik w przemysłowych systemach chłodzenia**

**Grudzień 2001**

**Ministerstwo Środowiska  
Warszawa, styczeń 2004**

Tytuł oryginału:

**Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems**

Dokument ten, zatwierdzony przez Komisję Europejską w grudniu 2001r., jest rezultatem wymiany informacji zorganizowanej na mocy art. 16 (2) Dyrektywy Rady 96/61/EC z dnia 24 września 1996r. w sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń w ramach prac Technicznej Grupy Roboczej, działającej przy Europejskim Biurze IPPC w Sewilli.

Niniejszy dokument referencyjny służy celom informacyjnym i nie jest przepisem prawa. Może być pomocny przy określaniu wymogów najlepszych dostępnych technik (BAT) dla instalacji do produkcji cementu i wapna oraz przesłanką do podejmowania decyzji odnośnie warunków pozwolenia zintegrowanego dla tych instalacji.

Tłumaczenie wykonano w ramach IV Programu Indykatorywnego „Wsparcie Ministerstwa Środowiska w procesie integracji Polski z Unią Europejską i w dostosowaniu prawa oraz administracji ochrony środowiska do wymogów członkostwa w Unii Europejskiej”, finansowanego ze środków Ekologicznego Funduszu Partnerskiego Phare.

Tłumaczenie dokumentu zostało zweryfikowane merytorycznie przez ekspertów i tłumaczy: mgr inż. Marek Mierzwiński, dr inż. Adam Ruciński, dr inż. Andrzej Girdzwoń.

W przypadku wątpliwości interpretacyjnych należy posłużyć się dokumentem oryginalnym dostępnym na stronie internetowej Europejskiego Biura IPPC w Sewilli (<http://eippcb.jrc.es>)

## STRESZCZENIE

Niniejszy dokument referencyjny, dotyczący najlepszych dostępnych technik BAT (*Best Available Techniques*) w przemysłowych systemach chłodzenia, odzwierciedla wymianę informacji, przeprowadzoną zgodnie z art. 16 ust. 2 dyrektywy Rady 96/61/WE. Dokument ten powinien być rozpatrywany w świetle wstępu, który określa jego cele i sposób wykorzystania.

Chłodzenie przemysłowe zostało określone jako zagadnienie o charakterze podstawowym w ramach IPPC. Oznacza to, że wskazanie w niniejszym dokumencie „najlepszych dostępnych technik” (BAT), w odniesieniu do procesów przemysłowych wykorzystujących chłodzenie, dokonane jest bez szczegółowej analizy samych procesów. Niemniej jednak, podane najlepsze dostępne techniki BAT w odniesieniu do systemu chłodzenia w procesie przemysłowym uwzględniają jego specyfikę. Jest przyjęte, że najlepsze dostępne techniki BAT dla tego typu procesów mają złożony charakter, uwzględniający wymagania chłodzenia w procesie przemysłowym, jego specyfikę oraz wymagania ekologiczne. Dzięki temu ich wdrożenie odbywa się w warunkach ekonomicznej opłacalności i technicznej wykonalności.

Termin „przemysłowe systemy chłodzenia” odnosi się do systemów, w których nadmiar ciepła usuwany jest z jakiegokolwiek medium z wykorzystaniem wody i/lub powietrza, obniżających temperaturę tego medium do poziomu bliższego temperaturom otoczenia.

W niniejszym dokumencie, najlepsze dostępne techniki BAT, omówione są w odniesieniu do systemów chłodzenia, funkcjonujących w formie systemów pomocniczych w odniesieniu do pełnego procesu przemysłowego. Uważa się, że niezawodne funkcjonowanie systemu chłodzenia pozytywnie wpłynie na niezawodność procesu przemysłowego. Niemniej jednak, niniejszy dokument nie omawia funkcjonowania systemu chłodzenia w odniesieniu do bezpieczeństwa samego procesu.

Niniejszy dokument przedstawia zintegrowane podejście dotyczące określania najlepszych dostępnych technik BAT w przemysłowych systemach chłodzenia. Podejście to zakłada, że ostateczne rozwiązania najlepszych dostępnych technik BAT zależą w głównej mierze od specyfiki danego procesu. Jeśli chodzi o wybór systemu chłodzenia, podejście to może jedynie określić, które elementy związane są z oddziaływaniem systemu na środowisko, natomiast nie wskazuje, jak również nie faworyzuje ani nie dyskwalifikuje jakichkolwiek stosowanych systemów chłodzenia. W przypadku podejmowania kroków w kierunku redukcji szkodliwych oddziaływań systemu na środowisko, w najlepszych dostępnych technikach BAT próbuje się kłaść szczególny nacisk na powiązane efekty oddziaływań różnych elementów, podkreślając w ten sposób, że redukcja różnych emisji z systemów chłodzenia wymaga zrównoważenia.

Pięć rozdziałów dokumentu głównego omawia filozofię najlepszych dostępnych technik BAT, jej kluczowe kwestie i zasady, systemy chłodzenia oraz ich aspekty ekologiczne, kluczowe wnioski związane z zastosowaniem najlepszych dostępnych technik BAT oraz wnioski i zalecenia dotyczące dalszych działań. Jednocześnie załączników zawiera informacje dotyczące konkretnych aspektów konstrukcji i funkcjonowania systemów chłodzenia oraz przykłady, mające za zadanie zilustrować filozofię najlepszych dostępnych technik BAT.

### 1. Zintegrowane podejście

Zintegrowane podejście z wykorzystaniem najlepszych dostępnych technik BAT (w kontekście ogólnego oddziaływanie procesu przemysłowego na środowisko) bierze pod uwagę oddziaływanie systemu chłodzenia. Ma ono na celu minimalizację, zarówno pośredniego jak i bezpośredniego, negatywnego wpływu na środowisko naturalne systemu

chłodzenia w związku z jego funkcjonowaniem. Opiera się ono na doświadczeniu, zgodnie z którym środowiskowe oddziaływanie chłodzenia w procesie w dużym stopniu zależy od wyboru rodzaju i konstrukcji systemu chłodzenia. Dlatego, w przypadku nowych instalacji, podejście to koncentruje się na zapobieganiu emisjom poprzez dobór odpowiedniej konfiguracji chłodzenia oraz odpowiedniej koncepcji i konstrukcji systemu chłodzenia. Ponadto, emisje można zredukować poprzez optymalizację codziennej eksploatacji.

W przypadku istniejących systemów chłodzenia, możliwość zapobiegania negatywnemu oddziaływaniu na środowisko z użyciem środków technologicznych jest w pierwszym okresie znacznie mniejsza i w związku z tym koncentracja wysiłków musi być ukierunkowana na redukcję emisji poprzez zoptymalizowanie funkcjonowania oraz kontrolę systemów. W przypadku istniejących systemów można ustalić znaczną liczbę parametrów, takich jak przestrzeń, dostępność zasobów eksploatacyjnych oraz istniejące ograniczenia legislacyjne, co pozostawia jeszcze pewną swobodę we wprowadzaniu zmian. Niemniej jednak ogólne podejście w ramach najlepszych dostępnych technik BAT przedstawione w niniejszym dokumencie można interpretować jako cel długoterminowy, dostosowany do cykli wymiany wyposażenia w istniejących instalacjach.

Filozofia BAT uznaje chłodzenie za istotną część wielu procesów przemysłowych, którą należy zarazem postrzegać jako ważny element w ogólnym gospodarowaniu energią na potrzeby systemu. Skuteczne wykorzystywanie energii w procesach przemysłowych jest niezwykle istotne zarówno z ekologicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia. Przede wszystkim, w ramach BAT przed powzięciem jakichkolwiek kroków optymalizujących system chłodzenia, należy skoncentrować się na ogólnej wydajności energetycznej procesu przemysłowego lub wytwórczego. W celu podniesienia ogólnej wydajności energetycznej przemysł stara się zredukować ilość ciepła nieodzyskiwanego, stosując odpowiednie gospodarowanie energią oraz wdrażając szereg zintegrowanych programów oszczędzania energii. Obejmuje to wymianę energii między różnymi jednostkami w ramach procesu przemysłowego lub wytwórczego, wykorzystującego chłodzenie oraz połączenia z zewnętrznymi procesami sąsiadującymi. Istnieje obecnie tendencja odzyskiwania ciepła na potrzeby regionów przemysłowych w przypadku, gdy zakłady przemysłowe są wzajemnie powiązane bądź, gdy są one powiązane systemem ciepłowniczym wspólnym dla danego regionu lub na potrzeby rolnictwa szklarniowego. Jeżeli dalsze odzyskiwanie i ponowne użycie takiego ciepła nie jest możliwe, ciepło to z pewnością będzie musiało zostać uwolnione do środowiska.

Rozróżnia się nieodzyskiwalne ciepło niskiego (10-25°C), średniego (25-60°C) oraz wysokiego (60°C) poziomu. Ogólnie rzecz biorąc, w przypadku ciepła o niskim poziomie stosuje się mokre systemy chłodzenia, zaś w przypadku ciepła o wysokim poziomie - suche systemy chłodzenia. W przypadku poziomu średniego nie istnieje jedna preferowana zasada chłodzenia i stosuje się różne konfiguracje.

Po dokonaniu optymalizacji ogólnej wydajności energetycznej procesu przemysłowego lub wytwórczego, pozostaje pewna ilość oraz pewien poziom ciepła nieodzyskiwanego. Wybór rozwiązania koncepcji chłodzenia rozpraszającego takie ciepło może być dokonany w oparciu o:

- wymagania dotyczące chłodzenia procesu,
- ograniczenia danego zakładu (włączając w to ustawodawstwo lokalne),
- wymagania środowiskowe.

W celu zapewnienia niezawodnych warunków technologicznych, włączając w to rozruch i zatrzymanie, należy zawsze spełniać wymogi dotyczące chłodzenia w procesie przemysłowym lub wytwórczym. Przez cały czas należy zapewnić wymaganą minimalną temperaturę technologiczną oraz niezbędną wydajność chłodzenia w celu podwyższania

jakości procesu przemysłowego lub wytwórczego oraz redukcji strat produktu i emisji do środowiska. Staje się to tym istotniejsze, im bardziej procesy te są wrażliwe na temperaturę.

Lokalne warunki ograniczają możliwości projektowe oraz możliwe sposoby eksploatacji systemu chłodzenia. Warunki te zdefiniowane są przez klimat lokalny, dostępność wody do chłodzenia i odprowadzania, przestrzeń dostępną dla konstrukcji oraz wrażliwość lokalnego środowiska na emisje. W zależności od wymogów procesu chłodzenia oraz wymaganej wydajności chłodzenia wybór lokalizacji dla nowej instalacji (np. duże źródło zimnej wody) może mieć bardzo istotne znaczenie. Jeżeli ten wybór uzależniony jest od innych kryteriów, to wymagania związane z chłodzeniem procesu oraz charakterystyka lokalna są stałe, co zachodzi także w przypadku istniejących systemów chłodzenia.

W przypadku chłodzenia klimat lokalny jest istotny, gdyż wpływa on na temperaturę wody lub powietrza, stanowiących chłodziwo końcowe. Klimat lokalny jest określany na podstawie temperatur termometru suchego i mokrego. Systemy chłodzenia zaprojektowane są ogólnie tak, aby spełniały wymagania związane z chłodzeniem w najmniej sprzyjających warunkach klimatycznych danego regionu, tzn. z uwzględnieniem najwyższych temperatur termometru wilgotnego i suchego.

Następny etap, dotyczący wyboru i konstrukcji systemu chłodzenia, ma na celu dostosowanie go do wymagań związanych z najlepszymi dostępnymi technikami BAT w ramach potrzeb procesu podlegającego chłodzeniu oraz ograniczeń danego przypadku. Oznacza to, że nacisk kładzie się na dobór odpowiedniego materiału i wyposażenia w celu obniżenia wymagań związanych z konserwacją, ułatwienia eksploatacji systemu chłodzenia oraz dostosowania się do wymagań środowiskowych. Oprócz uwalniania ciepła do środowiska, mogą pojawić się inne skutki negatywnie wpływające na środowisko naturalne, takie jak emisja dodatków wykorzystanych do kondycjonowania systemów chłodzenia. Należy zwrócić uwagę, że tam, gdzie możliwe jest obniżenie ilości wspomnianych poziomów rozpraszanego ciepła, ograniczany jest zakres negatywnego wpływu na środowisko systemu przemysłowego wykorzystującego chłodzenie.

Zasady stanowiące podstawę najlepszych dostępnych technik BAT można stosować również w stosunku do istniejących systemów chłodzenia. Dostępne są tu takie opcje technologiczne jak: zmiana technologii chłodzenia, zmiana (lub modyfikacja) istniejącego wyposażenia lub wykorzystywanych substancji chemicznych. Ich zastosowanie jest jednak ograniczone.

## 2. Stosowane systemy chłodzenia

Systemy chłodzenia opierają się na zasadach termodynamiki i są wybierane tak, aby zapewniać wymianę ciepła między procesem i chłodziwem oraz aby ułatwiać uwalnianie nieodzyskiwanego ciepła do środowiska. Przemysłowe systemy chłodzenia można podzielić według konstrukcji lub według głównej zasady chłodzenia, czyli tego, czy wykorzystane chłodziwo stanowi woda, powietrze czy też kombinacja wody i powietrza.

Wymiana ciepła między medium używanym w ramach procesu a chłodziwem jest usprawniana dzięki wymiennikom ciepła. Chłodziwo przenosi ciepło z wymienników ciepła do środowiska. W systemach otwartych chłodziwo pozostaje w kontakcie ze środowiskiem, zaś w systemach zamkniętych chłodziwo lub medium wykorzystywane w ramach procesu krąży w przewodach rurowych lub węzownicach i nie jest w bezpośrednim kontakcie ze środowiskiem.

W instalacjach o dużej wydajności, tam gdzie dostępna jest wystarczająca ilość wody chłodzącej lub chłodzących wód powierzchniowych, stosuje się zazwyczaj otwarte systemy z jednorazowym przepływem. Jeżeli nie są dostępne wystarczające zasoby wody, wykorzystywane są systemy recykulacyjne (wieże chłodnicze), zamknięte.

W otwartych wieżach recyrkulacyjnych woda chłodząca ulega schłodzeniu w wyniku kontaktu ze strumieniem powietrza. Wieże wyposażone są w urządzenia mające za zadanie usprawnienie kontaktu powietrze/woda. Przepływ powietrza może powstać w wyniku ciągu mechanicznego wytworzonego przez wentylatory lub w wyniku ciągu naturalnego. Wieże wykorzystujące ciąg mechaniczny są powszechnie stosowane w zakładach o dużej i małej wydajności. Natomiast wieże wykorzystujące ciąg naturalny stosowane są głównie w zakładach o dużej wydajności (np. w energetyce).

W przypadku zamkniętych systemów chłodzenia przewody rurowe i węzownice, zawierające krążące w nich chłodziwo lub medium z procesu, są chłodzone, chłodząc z kolei umieszczone w nich substancje. W systemach mokrych strumień powietrza chłodzi rury lub ich węzownice w wyniku odparowania rozpylanej wody. W przypadku systemów suchych jedynie strumień powietrza opływa te rury/węzownice. W obu przypadkach węzownice mogą być wyposażone w żebra powiększające powierzchnię chłodzenia, w ten sposób zwiększając efekt chłodniczy. Systemy mokre, zamknięte są powszechnie stosowane w przemyśle, w zakładach o mniejszej wydajności. Zasada suchego chłodzenia powietrzem stosowana jest zarówno w mniejszych zakładach przemysłowych, jak i w dużych elektrowniach, jeżeli wystarczająca ilość wody nie jest dostępna lub woda jest bardzo droga.

Otwarte i zamknięte hybrydowe systemy chłodzenia są specjalnymi konstrukcjami wież mechanicznych, co pozwala ograniczyć tworzenie się widocznych chmur par zarówno przy pracy w warunkach wilgotnych, jak i w suchych. Podczas okresów niskiej temperatury otoczenia roczne zużycie wody oraz tworzenie się widocznych par można ograniczyć dzięki eksploatacji takich systemów w warunkach suchych (szczególnie w małych jednostkach ogniowych).

**Tabela 1: Przykład technicznych i termodynamicznych właściwości różnych systemów chłodzenia dla zastosowań przemysłowych (z wyłączeniem elektrowni)**

System chłodzenia	Chłodziwo	Główna zasada chłodzenia	Minimalne wartości różnicy temperatur (K) <sup>4)</sup>	Minimalna możliwa do uzyskania temperatura końcowa medium stosowanego w ramach procesu <sup>5)</sup> (°C)	Wydajność cieplna procesu przemysłowego (MW <sub>th</sub> )
Otwarty system z jednorazowym przepływem -bezpośredni	Woda	Przewodnictwo/ Konwekcja	3 – 5	18 – 20	<0,01 - > 2000
Otwarty system z jednorazowym przepływem -pośredni	Woda	Przewodnictwo/ Konwekcja	6 – 10	21 – 25	<0,01 - > 1000
Otwarty recyrkulacyjny system chłodzenia -bezpośredni	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Odparowanie <sup>3)</sup>	6 – 10	27 – 31	< 0,1 – >2000
Otwarty recyrkulacyjny system	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Odparowanie <sup>3)</sup>	9 – 15	30 – 36	< 0,1 - > 200



chłodzenia -pośredni					
System mokrego chłodzenia w obwodzie zamkniętym	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Odprowadzenie + konwekcja	7 – 14 <sup>7)</sup>	28 – 35	0,2 – 10
System chłodzenia suchym powietrzem w obwodzie zamkniętym	Powietrze	Konwekcja	10 – 15	40 – 45	< 0,1 – 100
Otwarte chłodzenie hybrydowe	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Odprowadzenie + konwekcja	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 <sup>6)</sup>
Zamknięte chłodzenie hybrydowe	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Odprowadzenie + konwekcja	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 <sup>6)</sup>

Uwagi:

- 1) Woda stanowi chłodziwo obiegu wtórnego i jest głównie poddawana recyrkulacji. Woda wyparowując, przenosi ciepło do powietrza.
- 2) Powietrze stanowi chłodziwo, z którym ciepło jest przenoszone do środowiska.
- 3) Odprowadzenie stanowi główną zasadę chłodzenia. Ciepło jest również przenoszone za pomocą przewodnictwa/konwekcji, lecz w mniejszych ilościach.
- 4) Minimalne wartości różnicy temperatur, na jakie można się zbliżyć z uwzględnieniem temperatur termometru wilgotnego bądź suchego.  
Należy powiększyć podane wartości o wielkości związane z zastosowaniem wymiennika ciepła oraz wieży chłodniczej.
- 5) Temperatury końcowe zależą od klimatu zakładu (dane dotyczą średnich warunków klimatycznych w Europie Środkowej)  
30°/21°C dla temperatury suchego/wilgotnego termometru oraz maksymalnie 15°C dla temperatury wody
- 6) Wydajność niewielkich jednostek – dzięki połączeniu kilku jednostek lub specjalnie wybudowanym systemom chłodzenia, system może być bardziej wydajny.
- 7) Jeżeli zastosowano system pośredni lub jeżeli uwzględniono również konwekcję, to wartość w tym przykładzie wzrasta do 3-5K, co prowadzi do podniesionej temperatury procesu.

Tabela prezentuje właściwości stosowanych systemów chłodzenia dla danej sytuacji klimatycznej. Temperatura końcowa medium procesowego, opuszczającego wymiennik ciepła po chłodzeniu zależy od temperatury chłodziwa oraz wyboru systemu chłodzenia. Woda ma większą niż powietrze wartość ciepła właściwego i dlatego stanowi lepsze chłodziwo. Temperatury powietrza oraz wody, pełniących rolę chłodziw, zależą od lokalnych temperatur termometru suchego i wilgotnego. Im wyższe temperatury termometru wilgotnego, tym trudniej jest dokonać schłodzenia do niższych temperatur końcowych procesu.

Temperatura końcowa procesu stanowi sumę najniższej temperatury otoczenia (chłodziwa) oraz minimalnej różnicy temperatury między chłodziwem (wprowadzonym do systemu chłodzącego) a medium używanym w procesie (opuszczającym system chłodzenia) za wymiennikiem ciepła, co nazywane jest również zbliżeniem (temperaturowym). Z technicznego punktu widzenia to zbliżenie może być bardzo nieznaczne dzięki samej konstrukcji, lecz koszty są odwrotnie proporcjonalne do jego wielkości. Im mniejsze zbliżenie, tym niższa może być końcowa temperatura technologiczna. Każdy wymiennik ciepła posiadać będzie własną różnicę temperatur i w przypadku dodatkowych wymienników

ciepła, wszystkie różnice temperatur dodaje się po kolei do temperatury chłodziwa (wprowadzanego do systemu chłodzenia) w celu przeliczenia możliwej do osiągnięcia temperatury końcowej procesu. W pośrednich systemach chłodzenia stosuje się dodatkowe wymienniki ciepła, jeżeli wykorzystywany jest dodatkowy obieg chłodzenia. Taki wtórny obieg oraz główny obieg chłodzenia wymieniają ciepło z wykorzystaniem wymiennika ciepła. Pośrednie systemy chłodzenia stosowane są w przypadku, gdy należy bezwzględnie zapobiec wyciekowi substancji technologicznych do środowiska.

W przypadku szeroko stosowanych w energetyce systemów chłodzenia, minimalne zbliżenia temperatur oraz wydajności chłodzenia różnią się nieco od zastosowań nieobejmujących elektrowni, ze względu na specjalne wymagania procesu kondensacji pary. Poniżej zestawiono różne zbliżenia oraz odpowiednie dane dotyczące wydajności generatorów mocy.

**Tabela 2: Przykłady wydajności i właściwości termodynamicznych różnych systemów chłodzenia stosowanych w energetyce**

System chłodzenia	Zastosowane różnice temperatur (K)	Wydajność generatora mocy (MW)
Otwarte systemy z jednorazowym przepływem	13-20 (różnica końcowa 3-5)	< 2700
Otwarta mokra wieża chłodnicza	7-15	< 2700
Otwarta hybrydowa wieża chłodnicza	15-20	< 2500
Kondensator chłodzony suchym powietrzem	15-25	< 900

### 3. Aspekty środowiskowe związane ze stosowanymi systemami chłodzenia

Aspekty środowiskowe związane ze stosowanymi systemami chłodzenia różnią się zależnie od zastosowanej konfiguracji chłodzenia, lecz głównie koncentrują się na podnoszeniu ogólnej sprawności energetycznej i redukcji emisji do środowiska wodnego. Zużycie oraz emisja są specyficzne dla danego przypadku i jeżeli można je określić ilościowo, wykazują znaczną różnorodność. Zgodnie z filozofią zintegrowanego podejścia najlepszych dostępnych technik BAT, przy ocenie każdego aspektu środowiskowego oraz związanych z nim sposobów redukcji należy uwzględnić wpływ na różne media.

#### • Zużycie energii

Bezpośrednie i pośrednie zużycie jednostkowe energii stanowi istotny aspekt środowiskowy ważny dla wszystkich systemów chłodzenia. Pośrednie zużycie jednostkowe energii to zużycie energii w procesie, który ma zostać poddany chłodzeniu. Takie pośrednie zużycie energii może się zwiększyć ze względu na mniej niż optymalną wydajność chłodzenia zastosowanej konfiguracji systemu chłodzącego; może to spowodować wzrost temperatury procesu ( $\Delta K$ ), co wyraża się w  $\text{kW}_e/\text{MW}_{\text{th}}/\text{K}$ .

Bezpośrednie zużycie jednostkowe energii systemu chłodzenia wyrażone jest w  $\text{kW}_e/\text{MW}_{\text{th}}$  i dotyczy ilości energii zużytej przez wyposażenie zasilane energią (pompy, wentylatory) wchodzące w skład systemu chłodzenia dla każdego rozpraszanego  $\text{MW}_{\text{th}}$ .

Kroki podejmowane w celu zmniejszenia pośredniego jednostkowego zużycia energii dotyczą:

- wyboru konfiguracji chłodzenia z najniższym pośrednim zużyciem jednostkowym energii (przeważnie systemy z jednorazowym przepływem),



- zastosowania konstrukcji o niskich wartościach,
- redukcji utrudnień wymiany ciepła poprzez odpowiednią konserwację systemu chłodzącego.

Na przykład w energetyce, przejście z systemu z jednorazowym przepływem na recyrkulacyjny system chłodzenia oznacza wzrost zużycia energii dla urządzeń pomocniczych oraz spadek wydajności cyklu cieplnego.

Aby obniżyć bezpośrednie zużycie jednostkowe energii, można stosować pompy oraz wentylatory o wyższej wydajności. Spadki oporu i ciśnienia w procesie można zredukować za pomocą właściwej konstrukcji systemu chłodzenia oraz dzięki zastosowaniu eliminatorów osadów oraz redukcji wypełnienia wieży. Niski opór podczas eksploatacji można zachować dzięki odpowiedniemu mechanicznemu lub chemicznemu czyszczeniu powierzchni.

### • Woda

Woda jest istotna dla systemów chłodzenia mokrego, ze względu na swoją rolę głównego chłodziwa, jak i rolę środowiska przyjmującego zanieczyszczenia w wyniku odprowadzania wody chłodzącej. Znacznym poborom wody towarzyszą mocne uderzenia strumienia wodnego oraz wciąganie ryb i innych organizmów wodnych. Odprowadzanie dość dużych ilości ciepłej wody ma również wpływ na środowisko wodne. Można je jednak kontrolować dzięki odpowiedniej lokalizacji miejsca poboru i wylotu odprowadzającego oraz ocenie przepływów pływowych i estuaryjnych w celu zapewnienia odpowiedniego zmieszania oraz rozproszenia adwekcyjnego ciepłej wody.

Zużycie wody waha się między poziomem  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$  w przypadku otwartych wież hybrydowych, a poziomem do  $86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$  w przypadku otwartego systemu z jednorazowym przepływem. Redukcja znacznych poborów wody za pomocą systemów z jednorazowym przepływem wymaga zmiany na chłodzenie recyrkulacyjne, co jednocześnie obniży ilość odprowadzanej ciepłej wody chłodzącej oraz może obniżyć emisję substancji chemicznych i odpadów. Dzięki podniesieniu liczby cykli, udoskonaleniu jakości wody oraz optymalizacji wykorzystania źródeł ścieków dostępnych na terenie zakładu lub poza zakładem można obniżyć zużycie wody w systemach recyrkulacyjnych. Te dwie możliwości wymagają kompleksowego programu oczyszczania wody chłodzącej. Chłodzenie hybrydowe, które umożliwia suche chłodzenie podczas niektórych pór roku, przy niewielkim zapotrzebowaniu na chłodzenie oraz przy niskich temperaturach powietrza, może doprowadzić do obniżenia zużycia wody szczególnie w przypadku niewielkich obiektów.

W celu ograniczenia uderzeń strumienia wodnego i wciągania/porywania organizmów wodnych stosuje się odpowiednie projektowanie i lokalizację punktu poboru oraz różnych urządzeń (takich jak ekrany, bariery, światło, dźwięk). Oddziaływanie urządzeń uzależnione jest od gatunku przedstawicieli fauny wodnej. Koszty takich zastosowań są wysokie i dlatego są one najchętniej podejmowane w przypadku budowania nowych instalacji. Obniżenie wymaganej wydajności chłodzenia, może doprowadzić do redukcji emisji ciepłej wody chłodzącej do przyjmującej wody powierzchniowej, jeśli jest możliwe zwiększenie ponownego użycia energii.

### • Emisje ciepła do wody powierzchniowej

Jak wspomniano powyżej, emisje ciepła do wody powierzchniowej mogą mieć negatywny wpływ środowiskowy na wody powierzchniowe. Czynniki kształtujące taki wpływ to np. możliwa zdolność rozproszenia przyjmującej wody chłodzącej, rzeczywista temperatura oraz stan ekologiczny wód powierzchniowych. Emisje ciepła mogą powodować przekraczanie środowiskowych norm jakości (EQS) (dla temperatury podczas ciepłych okresów letnich) w

wyniku odprowadzania ciepła z wody chłodzącej do wód powierzchniowych. Dyrektywa 78/569/EWG określiła wymagania temperaturowe dla dwóch systemów ekologicznych (wody typu Salmonid i Cyprinid). Czynnikiem istotnym w zakresie oddziaływania emisji ciepła na środowisko naturalne jest nie tylko rzeczywista temperatura w wodzie, ale również wzrost temperatury na granicy strefy mieszania w wyniku odprowadzania ciepła do wody. Ilość i poziom ciepła odprowadzonego do wód powierzchniowych, w stosunku do objętości odbiornika, ma znaczenie dla zakresu wpływu na środowisko naturalne. Sytuacja gdy ciepło jest odprowadzane do relatywnie niewielkich objętościowo wód powierzchniowych a strumień gorącej wody dosięga przeciwnego brzegu rzeki lub kanału, może powodować powstawianie bariery dla migracji ryb łososiowatych.

Poza tym, wysoka temperatura w wyniku emisji ciepła może prowadzić do zwiększonego zapotrzebowania na tlen oraz produkcji biologicznej (eutrofizacji), powodującej jego niższe stężenia w wodzie.

Podczas projektowania systemu chłodzenia muszą być wzięte pod uwagę powyższe aspekty oraz możliwości redukcji ciepła rozpraszanego w wodzie powierzchniowej.

#### • Emisje substancji do wody powierzchniowej

Emisje do wody powierzchniowej z systemów chłodzenia spowodowane są przez:

- zastosowanie dodatków do wody chłodzącej i substratów ich reakcji,
- substancje zawieszane w powietrzu, wprowadzane przez wieżę chłodniczą,
- produkty korozji, powstałe w wyniku korozji wyposażenia systemu chłodzenia,
- wyciek substancji technologicznych (produktów) oraz produktów ich reakcji.

Odpowiednie działanie systemów chłodzenia może wymagać uzdatniania wody chłodniczej tak, aby zapobiegać korozji sprzętu, osadzaniu się kamienia oraz tworzenia się mikro- i makroosadów. Uzdatnianie takie jest różne w zależności od tego czy mamy do czynienia z otwartymi systemami chłodzenia z jednorazowym przepływem, czy też z systemami recyrkulacyjnymi. Jeśli chodzi o systemy recyrkulacyjne, to programy uzdatniania wody chłodzącej mogą być wysoce złożone, a gama zastosowanych środków chemicznych może być obszerna. W rezultacie poziomy emisji wylotu z tych systemów mogą się znacznie różnić i trudno jest określić reprezentatywne poziomy emisji. Zdarza się, że wylot zawiera środki uzdatniania przed odprowadzeniem.

Emisje utleniających biocydów w otwartych systemach z jednorazowym przepływem, mierzone jako wolny utleniacz przy wylocie, wahają się pomiędzy 0,1 [mg FO/l] a 0,5 [mg FO/l], w zależności od wzoru i częstotliwości dozowania.

**Tabela 3: Składniki chemiczne uzdatniania wody chłodniczej w otwartych i recyrkulacyjnych systemach chłodzenia wilgotnego**

Przykłady chemicznego uzdatniania*	Problemy z jakością wody					
	Korozja		Osadzanie się kamienia		(Bio-) zanieczyszczenia	
	Systemy z jednorazowym przepływem	Systemy recyrkulacyjne	Systemy z jednorazowym przepływem	Systemy recyrkulacyjne	Systemy z jednorazowym przepływem	Systemy recyrkulacyjne
Cynk		X				
Molibdeniany		X				
Krzemiany		X				
Fosfonaty		X		X		
Polifosfonaty		X		X		
Estery polioliu				X		
Naturalne substancje organiczne				X		
Polimery	(X)		(X)	X		
Biocydy nieutleniające						X
Biocydy utleniające					X	X

\* chromian nie jest już szeroko stosowany z powodu swego negatywnego wpływu na środowisko

Dobór i zastosowanie wyposażenia chłodniczego, zbudowanego z materiału przyjaznego dla środowiska może obniżyć poziom wycieków i korozji. Środowisko takie jest opisane za pomocą:

- uwarunkowań technologicznych, takich jak temperatura, ciśnienie, szybkość przepływu,
- schładzane nośniki oraz
- chemiczne właściwości wody chłodzącej.

Materiałami powszechnie stosowanymi w wymiennikach ciepła, kanałach, pompach oraz osłonach są stal węglowa, miedź-nikiel oraz różne odmiany stali nierdzewnej; ponadto w coraz większym stopniu stosuje się tytan (Ti). Do ochrony powierzchni stosuje się również farby i powłoki.

#### • Zastosowanie biocydów

Aby zapobiec makro-zanieczyszczeniom, otwarte systemy z jednorazowym przepływem są zwykle oczyszczane przy użyciu biocydów utleniających. Ich ilość może być określona jako roczny zastosowany dodatek tlenowy, wyrażony jako równoważnik chloru na  $MW_{th}$ , w połączeniu z poziomem zanieczyszczenia w wymienniku ciepła bądź w jego pobliżu. Zastosowanie halogenów jako dodatków tlenowych w systemach z jednorazowym przepływem doprowadzi do zanieczyszczenia środowiska, głównie poprzez produkcję halogenowych produktów ubocznych.

W otwartych systemach recyrkulacyjnych wstępne oczyszczanie ma za zadanie przeciwdziałać osadzaniu się kamienia, korozji i mikro-zanieczyszczeniom. Przy stosunkowo mniejszych kubaturach recyrkulacyjnych systemów chłodzenia wilgotnego, skutecznie wdrażane są alternatywne metody oczyszczania, takie jak wykorzystanie ozonu i promieni ultrafioletowych. Metody te jednak wymagają określonych warunków procesowych i mogą być dosyć drogie.

Działania eksploatacyjne skierowane na redukcję szkodliwych efektów odprowadzania wody chłodzącej, to zamykanie odpowietrzacza podczas uzdatniania wstrząsowego oraz uzdatnianie wydmuchu przed odprowadzeniem do wody powierzchniowej. Jeśli chodzi o uzdatnianie wydmuchu w obiekcie zajmującym się uzdatnianiem wody odpadowej, aktywność pozostałości biocydowych powinna być stale monitorowana, gdyż może wywrzeć niekorzystny wpływ na populację drobnoustrojów.

W celu zmniejszenia emisji w odprowadzanej wodzie i zredukowania negatywnego wpływu na środowisko wodne, biocydy są tak dobierane, aby dopasować wymogi systemów chłodzenia do wrażliwości odbierającego środowiska wodnego.

- **Emisje do atmosfery**

Powietrze odprowadzane z suchego obiegu wież chłodniczych nie jest przeważnie uważane za najważniejszy problem chłodzenia. Zanieczyszczenie może się pojawić w przypadku wycieku produktu, lecz odpowiednia konserwacja może temu zapobiec.

Kropelki uwalniane z mokrych wież chłodniczych mogą być zanieczyszczone substancjami chemicznymi przeznaczonymi do uzdatniania wody, mikroorganizmami, bądź produktami zapobiegającymi korozji. Zastosowanie eliminatorów osadu oraz zoptymalizowany program uzdatniania wody pozwalają zmniejszyć potencjalne ryzyko.

Formowanie się oparów brane jest również pod uwagę w sytuacji, gdy występuje efekt mgły, bądź gdy istnieje ryzyko, że pary osiągną poziom gruntu.

- **Hałas**

Emisja hałasu jest kwestią lokalną dla dużych wież chłodniczych o ciągu naturalnym i wszystkich mechanicznych systemów chłodzenia. Poziomy nietłumionego dźwięku wahają się pomiędzy 70 [dB(A)] dla naturalnych ciągów, a około 120 [dB(A)] dla wież z ciągiem mechanicznym. Rozpiętości te spowodowane są wykorzystaniem różnego rodzaju sprzętu oraz różnymi miejscami pomiaru, ponieważ pomiar taki daje inną wartość przy wlocie i wylocie powietrza. Wentylatory, pompy oraz spadająca woda są głównymi źródłami hałasu.

- **Aspekty ryzyka**

Aspekty ryzyka dotyczące systemów chłodzenia związane są z wyciekami z wymienników ciepła, składowaniem środków chemicznych oraz mikrobiologicznym zanieczyszczeniem (takim jak choroba legionistów) wilgotnych systemów chłodzenia.

Prewencyjna konserwacja oraz monitoring są środkami stosowanymi w celu zapobieżenia przeciekom oraz mikrobiologicznemu zanieczyszczeniu. Pod uwagę bierze się również pośrednie systemy chłodzenia bądź specjalne środki prewencyjne w sytuacji, gdy istnieje prawdopodobieństwo, że przeciek doprowadzi do odprowadzenia dużych ilości substancji szkodliwych dla środowiska wodnego.

W celu powstrzymania rozwoju *Legionellae pneumophila* - *Lp* (zarazek powodujący chorobę legionistów) zaleca się opracowanie odpowiedniego programu uzdatniania wody. Nie można ustalić wysokich limitów poziomów stężenia dla *Lp*, obliczanych w jednostkach tworzenia się kolonii [CFU na litr], które zupełnie wykluczałyby ryzyko. Ryzyko takie należy szczególnie wziąć pod uwagę podczas działań konserwacyjnych.

- **Pozostałości z eksploatacji systemów chłodzenia**

Nie przekazano zbyt wielu informacji dotyczących pozostałości bądź odpadów. Osady ściekowe ze wstępnego uzdatniania wody chłodzącej bądź z basenów wież chłodniczych należy uważać za odpady. Są one uzdatniane i składowane na szereg sposobów, w zależności od właściwości mechanicznych i składu chemicznego. Poziomy stężenie różnią się w zależności od programu uzdatniania wody chłodzącej.

Emisje do środowiska są w dalszym stopniu zredukowane poprzez zastosowanie mniej szkodliwych metod konserwacji wyposażenia oraz poprzez dobór materiałów, które mogą zostać poddane recyklingowi po wycofaniu z eksploatacji bądź wymianie elementów systemów chłodniczych.

#### **4. Kluczowe wnioski nt. BAT**

BAT lub pierwotne założenia najlepszych dostępnych technik BAT dla nowych lub istniejących systemów zostały przedstawione w rozdziale 4. Wnioski można podsumować w następujący sposób.

Uznaje się, że ostateczne rozwiązanie (w ramach najlepszych dostępnych technik BAT) będzie dostosowane do warunków konkretnej lokalizacji, ale w niektórych kwestiach można wyróżnić techniki, będące ogólnymi BAT. We wszelkich przypadkach przed podjęciem decyzji o usunięciu ciepła procesowego do środowiska należy najpierw sprawdzić i wykorzystać dostępne możliwości ponownego użycia ciepła w celu zredukowania ilości i poziomu ciepła nienadającego się do odzyskania.

W przypadku wszystkich instalacji najlepsza dostępna technika BAT to technika, metoda, procedura oraz wynik zintegrowanego podejścia mającego na celu redukcję negatywnego wpływu przemysłowych systemów chłodzenia na środowisko, przy utrzymaniu równowagi między bezpośrednim i pośrednim oddziaływaniem na środowisko. Metody redukcji powinny być brane pod uwagę, jeśli pozwalają na utrzymanie minimum efektywności systemu chłodzenia lub wiążą się z taką utratą efektywności, która będzie nieistotna, jeśli uwzględnimy pozytywny wpływ na środowisko.

W odniesieniu do znacznej liczby aspektów środowiskowych zidentyfikowano techniki, które można uznać za najlepsze dostępne techniki BAT. Nie jest to możliwe w kwestii redukcji odpadów bądź gospodarki odpadami przy równoczesnym uniknięciu problemów z zanieczyszczeniem gleby, wody oraz (w wypadku spalania) powietrza.

- **Wymogi lokalizacji i procesu**

Wybór pomiędzy mokrym, suchym oraz mokrym/suchym chłodzeniem w celu sprostania wymogom lokalizacji i procesu ukierunkowany jest na osiągnięcie najwyższej ogólnej sprawności energetycznej. W przypadku dużych ilości ciepła o niskim poziomie (10-25°C), za BAT uważane jest chłodzenie za pomocą systemów z jednorazowym przepływem. W przypadku budowania nowych instalacji może to usprawiedliwiać wybór (nadbrzeżnej) lokalizacji z wystarczającymi ilościami dostępnej wody chłodzącej i z wodami powierzchniowymi mającymi wystarczający potencjał przyjęcia dużych ilości odprowadzanej wody chłodzącej.

Przy schładzaniu substancji niebezpiecznych (emitowanych przez system chłodzenia), które mogą spowodować duże zagrożenie dla środowiska, za najlepsze dostępne techniki BAT uważa się stosowanie pośrednich systemów chłodzenia wykorzystujących wtórny obieg chłodzenia.

Wykorzystanie wód gruntowych dla potrzeb chłodzenia powinno być ograniczone do minimum, na przykład, gdy nie można wykluczyć wyczerpania zasobów wód gruntowych.

- **Redukcja bezpośredniego zużycia energii**

Niskie bezpośrednie zużycie energii przez system chłodzenia jest osiągane poprzez zmniejszanie ograniczeń w zużyciu wody i/lub powietrza w systemie chłodzenia oraz poprzez zastosowanie energooszczędnego wyposażenia. W przypadku, gdy proces poddany schłodzeniu wymaga zróżnicowanej obsługi, z powodzeniem zamiennie stosuje się przepływ powietrza i wody, co można uznać za najlepszą dostępną technikę BAT.

- **Ograniczenie zużycia wody i redukcja emisji ciepła do wody**

Ograniczenie zużycia wody oraz redukcja emisji ciepła do wody są blisko powiązane i znajdują tu zastosowanie te same technologie.

Ilość wody potrzebnej do schładzania łączy się z ilością ciepła, jakie ma zostać rozproszone. Im wyższy jest poziom ponownego użycia wody chłodniczej, tym mniejsza jej ilość jest niezbędna.

Recykulacja wody chłodzącej, przy użyciu otwartego bądź zamkniętego mokrego systemu recykulacyjnego, stanowi najlepszą dostępną technikę BAT w sytuacji, gdy dostępność wody jest niska bądź niepewna.

W systemach recykulacyjnych za najlepszą dostępną technikę BAT można uważać zwiększenie liczby cykli, lecz wymogi dotyczące uzdatniania wody chłodzącej mogą stanowić czynnik ograniczający.

Najlepszą dostępną techniką jest zastosowanie eliminatorów osadów w celu zmniejszenia osadów do poziomu poniżej 0,01% całościowego przepływu recykulacyjnego.

- **Obniżenie poziomu wciągania/porywania organizmów żywych**

Stworzono wiele różnych technik by zapobiec wciąganiu/porywaniu oraz zredukować wynikające z niego szkody. Efekt ich stosowania jest zróżnicowany i zależy od indywidualnego przypadku. Nie ustalono dotychczas żadnych konkretnych najlepszych dostępnych technik BAT, jednak kładzie się nacisk na analizę biotopu, gdyż sukces i porażka zależą w dużym stopniu od zachowań danych gatunków oraz od odpowiedniego zaprojektowania i umiejscowienia wlotu.

- **Redukcja emisji substancji chemicznych do wody**

Zgodnie z filozofią najlepszych dostępnych technik BAT zastosowanie potencjalnych technik w celu redukcji emisji do środowiska wodnego powinno być rozpatrywane w następującej kolejności:

1. dobór konfiguracji systemu chłodzenia z niższym poziomem emisji do wody powierzchniowej,
2. zastosowanie materiałów bardziej odpornych na korozję dla wyposażenia chłodniczego,
3. zapobieganie i redukcja przecieków substancji procesowych do obiegu chłodzącego,
4. zastosowanie alternatywnego (nie chemicznego) uzdatniania wody chłodzącej,
5. odpowiedni dobór dodatków do wody chłodzącej w celu zredukowania negatywnego wpływu na środowisko naturalne i
6. zoptymalizowane zastosowanie (monitoring i dozowanie) dodatków do wody chłodzącej.



Najlepsze dostępne techniki BAT zmniejszają potrzebę uzdatniania wody chłodzącej poprzez redukcję zanieczyszczeń oraz korozji dzięki właściwemu projektowi konstrukcji. W systemach z jednorazowym przepływem odpowiednia konstrukcja ma wyeliminować powstawanie stref stagnacyjnych oraz turbulencji, jak również utrzymać minimalną prędkość wody (0,8 [m/s] dla wymienników ciepła, 1,5 [m/s] dla skraplaczy).

Za najlepszą dostępną technikę BAT uważa się zastosowanie w systemach z jednorazowym przepływem w wysoce korozyjnym środowisku materiału zawierającego tytan (Ti), stal nierdzewną wysokiej jakości, bądź materiały o podobnej jakości, jeśli środowisko redukujące uniemożliwia zastosowanie tytanu (Ti).

W systemach recyrkulacyjnych, najlepszą dostępną techniką BAT stosowaną jako dodatek do metod przewidzianych w założeniach projektowych jest identyfikacja stężeń stosowanych cykli oraz korozyjności substancji procesowej w celu umożliwienia doboru materiałów o odpowiedniej odporności na korozję.

Dla wież chłodniczych najlepszą dostępną techniką BAT jest zastosowanie odpowiednich rodzajów wypełnienia w odniesieniu do jakości wody (zawartość elementów stałych), spodziewanego poziomu zanieczyszczeń, temperatury oraz odporności na erozję, a także dobór materiałów budowlanych, które nie wymagają konserwacji chemicznej.

Koncepcja VCI (inhibitora korozji lotnej) stosowana przez przemysł chemiczny ma na celu zminimalizowanie ryzyka dla środowiska wodnego w przypadku przecieku substancji procesowych. Koncepcja ta łączy poziom oddziaływania substancji przetwórczej na środowisko z wymaganą konfiguracją chłodzenia i wymogami dotyczącymi monitorowania. Przy wyższym ryzyku dla środowiska w przypadku przecieku koncepcja ta prowadzi do zastosowania ulepszonej antykorozyjności, konstrukcji z chłodzeniem pośrednim oraz stale podwyższanego poziomu monitorowania wody chłodniczej.

- **Redukcja emisji poprzez zoptymalizowane uzdatnianie wody chłodniczej**

Optymalizacja stosowania utleniających biocydów w systemach z jednorazowym przepływem bazuje na odpowiedniej synchronizacji i częstotliwości dozowania biocydów. Za najlepszą dostępną technikę BAT uważa się ograniczenie wykorzystania biocydów poprzez dozowanie celowe w połączeniu z monitorowaniem aktywności gatunków powodujących makrozanieczyszczenia (np. poruszanie się omułków w zaworach) oraz stosowanie odpowiedniego czasu przebywania wody chłodniczej w systemie. Dla systemów, w których różne strumienie chłodzące mieszają się na wylocie, najlepszą dostępną techniką jest chlorowanie przemienne, które może dodatkowo zredukować stężenia wolnych utleniaczy w odprowadzanej wodzie. Przerzywane oczyszczanie systemów z jednorazowym przepływem ogólnie wystarcza, aby zapobiec zanieczyszczeniu. W zależności od gatunku i temperatury wody (ponad 10-12°C), ciągłe oczyszczanie na niskich poziomach może okazać się konieczne.

Dla wody morskiej odpowiadające najlepszym dostępnym technikom BAT poziomy wolnych osadzających się utleniaczy (FRO – *free residual oxidant*) w wodzie odprowadzanej różnią się, w zależności od zastosowanych sposobów dozowania (przerzywane i ciągłe) oraz poziomów stężenia dawek, a także konfiguracji systemów chłodzenia. Wahają się one od  $\leq 0,1$  [mg/l] do 0,5 [mg/l], przy średniej dobowej wartości 0,2 [mg/l].

Bardzo ważnym elementem przy wdrażaniu podejścia do uzdatniania wody opartego na najlepszych dostępnych technikach BAT (w szczególności dla systemów recyrkulacyjnych stosujących biocydy nieutleniające) jest podejmowanie świadomych decyzji na temat zastosowanego sposobu uzdatniania wody oraz metod jego kontrolowania i monitorowania. Dobór odpowiedniego sposobu jest złożonym procesem, przy którym należy wziąć pod

uwagę szereg czynników lokalnych i odnoszących się do konkretnego zakładu. Należy również odnieść te czynniki do właściwości samych dodatków przeznaczonych do uzdatniania oraz do ilości i kombinacji, w jakich dodatki te są stosowane.

W celu wsparcia procesu decyzyjnego dotyczącego doboru najlepszych dostępnych technik BAT dla dodatków do wody chłodzącej na poziomie lokalnym, dokument referencyjny BAT ma za zadanie dostarczyć organom lokalnym odpowiedzialnym za wydanie pozwolenia IPPC zarys metodologii przeprowadzania właściwej oceny.

Dyrektywa 98/8/WE dotycząca biocydów reguluje wprowadzanie biocydów na rynek europejski i traktuje biocydy używane w systemach chłodzenia jako oddzielną kategorię. Z wymiany informacji wynika, że w niektórych Państwach Członkowskich istnieją konkretne procedury oceny dotyczące zastosowania dodatków do wody chłodzącej.

Dyskusja będąca częścią wymiany informacji zaowocowała stworzeniem dwóch koncepcji dotyczących dodatków do wody chłodzącej, które mogą zostać wykorzystane przez organy wydające pozwolenie jako narzędzie uzupełniające:

1. Lustracyjne narzędzie oceny oparte na istniejących konceptach, które pozwala na proste, względne porównanie dodatków do wody chłodzącej, w kontekście ich potencjalnego wpływu na środowisko wodne (ocena porównawcza, załącznik VIII.1).
2. Ocena dotycząca konkretnego zakładu i spodziewanego wpływu biocydów odprowadzanych do wody przyjmującej w świetle wyników dyrektywy o biocydach i przy wykorzystaniu metodologii w celu ustanowienia środowiskowych norm jakości (EQS) przyszłej ramowej dyrektywy wodnej jako elementów kluczowych (lokalna ocena biocydów, załącznik VIII.).

Ocena porównawcza może być traktowana jako metoda porównania wpływu na środowisko kilku alternatywnych dodatków do wody chłodzącej a lokalna ocena biocydów stanowi kryterium stosowane przy określaniu polityki zgodnej z BAT, w szczególności dla biocydów (PEC/PNEC <1). Zastosowanie metodologii oceny lokalnej jako narzędzia przy kontrolowaniu emisji przemysłowych jest już powszechną praktyką.

- **Redukcja emisji do atmosfery**

Zmniejszenie negatywnego wpływu emisji do atmosfery, stanowiących rezultat eksploatacji wieży chłodniczej, jest powiązane z optymalizacją kondycjonowania wody chłodzącej w celu redukcji stężeń w kroplach. W sytuacji, gdy osad jest głównym mechanizmem przenośnym, za najlepszą dostępną technikę BAT uważa się zastosowanie eliminatorów osadu, które pozwalają na osiągnięcie poziomu przepływu recyrkulacyjnego utraconego jako osad niższego niż 0,01%.

- **Redukcja hałasu**

Podstawowe działania polegają na zastosowaniu sprzętu o niskim poziomie hałasu. Związane z tym poziomy redukcji wynoszą do 5 [dB(A)].

Wtórne metody stosowane przy wlocie i wylocie wież chłodniczych z ciągiem wymuszonym pozwoliły na osiągnięcie redukcji 15 [dB(A)] bądź większej. Należy zauważyć, że redukcja hałasu, szczególnie przy zastosowaniu metod wtórnych, może prowadzić do spadku ciśnienia, co wymaga dodatkowego nakładu energii w celu skompensowania strat.

- **Redukcja ryzyka przecieku i ryzyka mikrobiologicznego**

Najlepsze dostępne techniki BAT to: zapobieganie przeciekom poprzez odpowiednie projektowanie konstrukcji, eksploatację w ramach limitów projektowych oraz regularne inspekcje systemu chłodzenia.

Za najlepszą dostępną technikę BAT szczególnie dla przemysłu chemicznego, uważa się zastosowanie bezpiecznej koncepcji inhibitora korozji lotnej VCI, jak wspomniano powyżej, w odniesieniu do redukcji emisji do wody.

Nie można w pełni zapobiec występowaniu *Legionella pneumophila* w systemach chłodzenia. Za najlepsze dostępne techniki BAT uważa się zastosowanie następujących środków:

- eliminacja stref stagnacyjnych i utrzymanie odpowiedniej prędkości wody,
- zoptymalizowanie uzdatniania wody chłodzącej w celu redukcji zanieczyszczeń, wzrostu i rozprzestrzeniania się glonów i pełzaków,
- okresowe czyszczenie basenu wieży chłodniczej oraz
- zredukowanie podatności operatorów na uszkodzenia dróg oddechowych poprzez dostarczenie środków ochrony przed hałasem i osłon na twarz przed wejściem do obsługiwanej jednostki, bądź przy ciśnieniowym czyszczeniu wież.

## 5. Rozróżnienie pomiędzy nowymi i istniejącymi systemami

Wszelkie kluczowe wnioski dotyczące najlepszych dostępnych technik BAT mogą być zastosowane dla nowych systemów. W przypadku, gdy najlepsze dostępne techniki BAT wymagają zmian technologicznych stosowanie tych technik można ograniczyć do istniejących systemów chłodzenia. W przypadku małych, seryjnie produkowanych wież chłodniczych zmiana technologiczna jest uważana za wykonalną zarówno z technicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Zmiany technologiczne dla dużych systemów są przeważnie kosztowne i wymagają złożonej oceny technicznej i ekonomicznej obejmującej wiele czynników. W niektórych przypadkach możliwe jest dokonanie względnie małych adaptacji dużych systemów, np. zmiany części wyposażenia. Dla bardziej złożonych zmian technologicznych konieczne może być szczegółowe rozpatrzenie i ocena efektów środowiskowych i kosztów.

Ogólnie mówiąc, najlepsze dostępne techniki BAT dla istniejących i nowych systemów są podobne jeśli chodzi o redukcję negatywnego wpływu eksploatacji systemów na środowisko naturalne. Odnosi się to do:

- optymalizacji uzdatniania wody chłodzącej poprzez kontrolowane dozowanie i dobór dodatków do wody chłodzącej, z ukierunkowaniem tych czynności na redukcję negatywnego wpływu na środowisko,
- regularnej konserwacji wyposażenia oraz
- monitorowania parametrów eksploatacyjnych takich jak: współczynnik korozji powierzchni wymiennika ciepła, skład chemiczny wody chłodzącej oraz stopień zanieczyszczenia i przeciekania.

Przykłady technik uważanych za najlepsze dostępne techniki BAT dla istniejących systemów chłodzenia:

- zastosowanie odpowiedniego wypełnienia w celu zniwelowania zanieczyszczeń,
- zastąpienie sprzętu rotacyjnego urządzeniami o niskiej emisji hałasu,
- zapobieganie przeciekom poprzez monitorowanie przewodów rurowych wymiennika ciepła,
- oczyszczanie ścieków przy użyciu filtrów biologicznych za pomocą strumienia bocznego,
- ulepszenie jakości wody przeznaczonej do uzupełniania obiegów oraz
- celowe dozowanie w systemach z jednorazowym przepływem.

## 6. Wnioski i zalecenia odnośnie dalszych działań

Niniejszy dokument referencyjny BAT spotkał się z dużym poparciem ze strony Technicznej Grupy Roboczej (TWG). Dokonanie oceny oraz zidentyfikowanie najlepszych dostępnych technik dla procesu chłodzenia przemysłowego uważa się za zadanie złożone oraz odnoszące się w sposób szczegółowy do konkretnego procesu i lokalizacji. Ponadto jest to proces obejmujący szereg aspektów technicznych i kosztowych. Niemniej jednak koncepcja ogólnych najlepszych dostępnych technik BAT dla systemów chłodzenia, w oparciu o ogólny wstęp do dokumentu referencyjnego BAT oraz wprowadzenie dotyczące najlepszych dostępnych technik BAT w rozdziale 4, cieszy się wyraźnym poparciem.

Proces wymiany informacji ujawnił szereg kwestii wymagających dalszych prac przy nowelizowaniu niniejszego dokumentu referencyjnego BAT. Lokalna ocena uzdatniania wody chłodniczej będzie wymagać dalszych badań dotyczących tego, w jaki sposób należy rozpatrywać wszystkie istotne czynniki i chemiczne właściwości odnoszące się do danej lokalizacji. Równocześnie jednak istnieje duże zapotrzebowanie na przejrzyste wytyczne i procedury robocze. Inne obszary zainteresowań, które wymagałyby dodatkowej pracy, to alternatywne techniki uzdatniania wody chłodniczej, minimalizacja ryzyka mikrobiologicznego oraz znaczenie emisji do atmosfery.

Weryfikacji dokonał:

Andrzej Sokulski

*Prezes Sekcji Chłodnictwa i Klimatyzacji*

*Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich*

<b>Streszczenie</b> .....	<b>2</b>
<b>WSTĘP</b> .....	<b>29</b>
<b>Zakres</b> .....	<b>33</b>
<b>SŁOWNIK</b> .....	<b>35</b>
Definicje termodynamiczne .....	35
Inne definicje.....	36
Skróty i akronimy.....	42
<b>1 Ogólne ujęcie zagadnienia BAT w odniesieniu do przemysłowych systemów chłodzenia</b> .....	<b>44</b>
1.1 Źródła ciepła, pojemność cieplna i zakres stosowania .....	51
1.2 System chłodzenia i jego wpływ na sprawność procesu .....	53
1.2.1 Zastosowania wrażliwe na temperaturę.....	53
1.2.2 Zastosowania niewrażliwe na temperaturę.....	55
1.3 Optymalizacja procesu podstawowego i regeneracja ciepła .....	55
1.3.1 Optymalizacja procesu podstawowego .....	55
1.3.2 Wykorzystanie ciepła odpadowego poza zakładem .....	56
1.4 Wybór systemu chłodzenia spełniającego wymagania procesowe i lokalizacyjne .....	57
1.4.1 Wymagania procesowe .....	57
1.4.2 Wybór miejsca .....	59
1.4.3 Warunki klimatyczne .....	63
1.4.4 Modelowanie matematyczne, symulacje modelowe, testy na obiegach pilotowych.....	65
1.5 Wybór technologii chłodzenia pod względem wymagań stawianych przez ochronę środowiska.....	65
1.5.1 Ogólne porównanie układów chłodzonych powietrzem i wodą.....	66
1.5.2 Czynniki projektowe i wybór materiałów .....	67
1.5.3 Możliwości zmian technologicznych w istniejących układach .....	69
1.5.3.1 Modernizacja – powody i rozważania.....	69
1.5.3.2 Zmiana technologii wymiany ciepła .....	71
1.5.3.3 Zastąpienie przestarzałej technologii wymiany ciepła technologią nowocześniejszą .....	73
1.5.3.4 Unowocześnianie istniejących technologii wymiany ciepła .....	73
1.6 Względy ekonomiczne .....	75
<b>2 Technologiczne aspekty stosowanych układów chłodzenia</b> .....	<b>76</b>
2.1 Wstęp .....	76
2.2 Wymienniki ciepła .....	79
2.2.1 Płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła.....	79
2.2.2 Płytowe wymienniki ciepła .....	79
2.2.3 Wymienniki ciepła a aspekty środowiskowe .....	79
2.3 System chłodzenia z jednorazowym przepływem.....	80
2.3.1 Bezpośrednie systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem.....	80
2.3.2 Systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem z wieżą chłodniczą.....	81
2.3.3 Pośrednie systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem.....	82
2.4 Otwarte systemy chłodzenia z recyrkulacją .....	83
2.4.1 Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza.....	85
2.4.2 Mokre wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym.....	87
2.4.2.1 Mokre wieże chłodzące z tłoczonym powietrzem.....	88
2.4.2.2 Mokre wieże chłodnicze z powietrzem zasysanym.....	89
2.5 Systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym.....	90
2.5.1 Systemy chłodzenia powietrzem.....	90
2.5.1.1 Wieża chłodnicza z grawitacyjnym przepływem powietrza.....	92
2.5.1.2 Systemy chłodzenia cieczy powietrzem .....	93
2.5.1.3 Skraplacze chłodzone powietrzem .....	94
2.5.2 Mokre systemy chłodzenia w obiegu zamkniętym.....	96
2.5.2.1 Mokre systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym i wymuszonym przepływem powietrza ..	97
2.5.2.2 Skraplacze pary z odparowaniem.....	98
2.6 Połączone mokre/suche systemy chłodzenia.....	98
2.6.1 Otwarte mokre/suche (hybrydowe) wieże chłodnicze.....	98
2.6.2 Hybrydowe systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym.....	100
2.6.2.1 Zraszane (ożebrowane) węzownice.....	101
2.6.2.2 Chłodnice adiabatyczne, zraszanie i wstępne ochładzanie powietrza, które chłodzi węzownice	101
2.6.2.3 Technologia połączona.....	102
2.6.2.4 Koszty systemów hybrydowych.....	102
2.7 Systemy chłodzenia z recyrkulacją .....	103

2.7.1	Bezpośrednie systemy chłodzenia z recyrkulacją .....	103
2.7.2	Pośrednie systemy chłodzenia z recyrkulacją .....	103
2.8	Koszty systemów chłodzenia .....	104
<b>3</b>	<b>Aspekty środowiskowe przemysłowych systemów chłodzenia i stosowane techniki zapobiegania oraz redukcji .....</b>	<b>106</b>
3.1	Wstęp .....	106
3.2	Zużycie energii .....	110
3.2.1	Bezpośrednie zużycie energii .....	110
3.2.2	Pośrednie zużycie energii .....	111
3.2.3	Redukcja zapotrzebowania na energię do chłodzenia .....	114
3.3	Zużycie i emisja wody chłodzącej .....	115
3.3.1	Zużycie wody .....	115
3.3.1.1	Pobór wody i wymagania jakościowe .....	115
3.3.1.2	Stosowane techniki redukcji konsumpcji wody .....	117
3.3.2	Wciąganie ryb .....	119
3.3.2.1	Skala zjawiska .....	119
3.3.2.2	Stosowane techniki redukcji .....	121
3.3.2.3	Koszty sygnalizacji świetlnej i dźwiękowej .....	123
3.3.3	Emisja ciepła do wód powierzchniowych .....	123
3.3.3.1	Wielkość emisji ciepła .....	123
3.3.3.2	Wymagania prawne dotyczące emisji ciepła .....	124
3.3.3.3	Stosowane techniki redukcji .....	125
3.4	Emisje powstające przy uzdatnianiu wody chłodzącej .....	127
3.4.1	Zastosowanie uzdatniania wody chłodzącej .....	127
3.4.2	Emisje substancji chemicznych do wód powierzchniowych .....	131
3.4.2.1	Biocydy utleniające .....	131
3.4.2.2	Biocydy nieutleniające .....	132
3.4.2.3	Czynniki wpływające na emisję biocydów .....	133
3.4.2.4	Poziomy emisji .....	134
3.4.2.5	Prawodawstwo .....	134
3.4.3	Redukcja emisji zanieczyszczeń do wód powierzchniowych .....	135
3.4.3.1	Zarys ogólny .....	135
3.4.3.2	Redukcja przez wybór materiału i konstrukcję systemów .....	140
3.4.4	Redukcja poprzez zastosowanie dodatkowego i alternatywnego uzdatniania wody chłodzącej .....	141
3.4.5	Redukcja emisji zanieczyszczeń osiągnięta dzięki ocenie i odpowiedniemu wyborowi substancji uzdatniających do wody chłodzącej .....	142
3.4.6	Optymalizacja zużycia substancji uzdatniających wodę chłodzącą .....	146
3.4.6.1	Dawkowanie substancji uzdatniającej do wody chłodzącej .....	147
3.4.6.1.1	Zakresy dawkowania .....	147
3.4.6.1.2	Systemy dozowania .....	149
3.4.6.2	Monitoring wody chłodzącej .....	149
3.4.6.2.1	Monitoring inhibitorów przeciwdziałających powstawaniu osadów i korozji oraz rozpraszaczy .....	150
3.4.6.2.2	Monitoring osadów pochodzenia biologicznego .....	151
3.5	Użycie powietrza jako czynnika chłodzącego i emisja zanieczyszczeń do powietrza .....	152
3.5.1	Wymagania dotyczące powietrza .....	152
3.5.2	Bezpośrednia i pośrednia emisja zanieczyszczeń .....	153
3.5.3	Opary .....	155
3.5.3.1	Powstawanie oparów .....	155
3.5.3.2	Zmniejszanie ilości oparów .....	155
3.6	Emisja hałasu .....	156
3.6.1	Źródła hałasu i poziomy hałasu .....	156
3.6.2	Ograniczanie emisji hałasu .....	159
3.6.2.1	Kontrola hałasu wytwarzanego przez spadającą wodę (mokre wieże chłodnicze) .....	160
3.6.2.1.1	Działania podstawowe .....	160
3.6.2.1.2	Sposoby wtórne .....	161
3.6.2.1.3	Suche wieże chłodnicze .....	161
3.6.2.2	Kontrola hałasu powstającego w urządzeniach mechanicznych (wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym) .....	161
3.6.2.2.1	Działania podstawowe .....	162
3.6.2.2.2	Działania wtórne .....	162
3.6.2.3	Koszty obniżania poziomu hałasu .....	163
3.7	Ryzyko związane z eksploatacją przemysłowych systemów chłodzenia .....	164



3.7.1	Ryzyko wystąpienia przecieków .....	164
3.7.1.1	Występowanie przecieków i ich konsekwencje .....	164
3.7.1.2	Redukcja nieszczelności .....	165
3.7.1.3	Ograniczenie przecieków poprzez konserwację zabezpieczającą .....	167
3.7.2	Składowanie i użytkowanie substancji chemicznych .....	168
3.7.3	Zagrożenie mikrobiologiczne .....	169
3.7.3.1	Występowanie drobnoustrojów .....	169
3.7.3.2	Pomiar ilości bakterii .....	170
3.7.3.3	Sposoby ograniczania zagrożenia mikrobiologicznego .....	170
3.8	Odpady pochodzące z systemu chłodzenia .....	173
3.8.1	Tworzenie się szlamów .....	173
3.8.2	Odpady z uzdatniania wody chłodzącej i mycia instalacji .....	173
3.8.3	Odpady z modernizacji, demontażu i złomowania instalacji .....	174
3.8.3.1	Używanie tworzyw sztucznych .....	174
3.8.3.2	Postępowanie z drewnem używanym w konstrukcjach mokrych wież chłodniczych .....	174
3.8.3.3	Wypełnienie mokrych wież chłodniczych .....	175
<b>4</b>	<b>Najlepsze dostępne techniki chłodzenia przemysłowego .....</b>	<b>155</b>
4.1	Wstęp .....	155
4.2	Poziome podejście do definiowania najlepszych dostępnych technik BAT dla chłodzenia przemysłowego .....	156
4.2.1	Zintegrowane zarządzanie ciepłem (zasady dysponowania ciepłem) .....	157
4.2.1.1	Chłodzenie przemysłowe = zarządzanie ciepłem .....	157
4.2.1.2	Ograniczenie ilości ciepła odpadowego przez optymalizację ponownego wykorzystania ciepła wewnątrz i na zewnątrz procesu technologicznego .....	158
4.2.1.3	System chłodzenia a wymagania procesu technologicznego .....	158
4.2.1.4	System chłodzenia a wymagania związane z lokalizacją .....	160
4.2.2	Zastosowanie najlepszych dostępnych technik BAT w przemysłowych systemach chłodzenia .....	161
4.3	Ograniczanie zużycia energii .....	163
4.3.1	Ogólne działania .....	163
4.3.2	Ustalone techniki ograniczania przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT .....	164
4.4	Ograniczanie zapotrzebowania na wodę .....	165
4.4.1	Ogólne działania .....	165
4.4.2	Ustalone techniki ograniczania przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki .....	166
4.5	Ograniczanie wciągania/porywania organizmów żywych .....	167
4.5.1	Ogólne działania .....	167
4.5.2	Ustalone techniki ograniczania przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki .....	167
4.6	Ograniczanie oddziaływania na wodę .....	168
4.6.1	Ogólne działania objęte BAT w celu ograniczenia emisji ciepła .....	168
4.6.2	Ogólne działania objęte BAT w celu ograniczenia emisji środków chemicznych do wody .....	168
4.6.3	Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy zastosowaniu podejścia BAT .....	170
4.6.3.1	Zapobieganie zanieczyszczeniom na etapie projektowania i eksploatacji .....	170
4.6.3.2	Ograniczenie zanieczyszczeń przez optymalizację uzdatniania wody chłodzącej .....	172
4.7	Ograniczanie oddziaływania na powietrze .....	175
4.7.1	Ogólne działania .....	175
4.7.2	Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki .....	175
4.8	Ograniczanie emisji hałasu .....	176
4.8.1	Ogólne działania .....	176
4.8.2	Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT .....	176
4.9	Ograniczanie ryzyka nieszczelności .....	177
4.9.1	Ogólne działania .....	177
4.9.2	Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT .....	177
4.10	Ograniczanie ryzyka biologicznego .....	178
4.10.1	Ogólne działania .....	178
4.10.2	Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT .....	179
<b>5</b>	<b>Wnioski końcowe .....</b>	<b>155</b>
5.1	Harmonogram prac .....	155
5.2	Źródła informacji .....	155
5.3	Zalecenia dla dalszych prac .....	156
	<b>Bibliografia .....</b>	<b>155</b>

<b>6</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Podstawy termodynamiczne.....</b>	<b>155</b>
6.1	Wymiana ciepła w wymienniku płaszczowo-rurowym.....	155
6.2	Temperatura spiętrzenia .....	157
6.3	Wydajność wymiennika ciepła.....	157
6.4	Temperatury mokrego i suchego termometru .....	158
6.5	Zależności pomiędzy ciepłem wymienianym a powierzchnią wymiany ciepła .....	158
<b>7</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Zasady oszczędzania energii przez optymalizację chłodzenia.....</b>	<b>155</b>
7.1	Temat .....	155
7.2	Podsumowanie wniosków .....	155
7.3	Wstęp .....	156
7.4	Obliczenia .....	158
7.4.1	Podstawy .....	158
7.4.2	Ilość wody chłodzącej $\uparrow$ .....	161
7.4.3	Ilość powietrza chłodzącego $\uparrow$ .....	162
7.4.4	Temperatura produktu $\uparrow$ ; objętość gazu $\uparrow$ .....	163
7.4.5	Ciśnienie produktu $\uparrow$ ; sprężarka chłodnicza $\uparrow$ .....	164
7.5	Całkowity potencjał oszczędności energii na 1 K spadku temperatury wody chłodzącej w warstwie osadów .....	166
7.5.1	Sprawność wytwarzania energii $\uparrow$ .....	166
7.5.2	Całkowite zużycie wody do chłodzenia w przemyśle holenderskim (z wyłączeniem energetyki) .....	167
7.5.3	Całkowity potencjał oszczędności energii na 1K chłodzenia wody chłodzącej, warunki brzegowe .....	167
7.6	Przykłady obliczeniowe względnego zaoszczędzenia energii i redukcji wpływu na środowisko przez zastosowanie inhibitorów .....	168
7.6.1	Udział utleniania .....	168
7.6.1.1	Układ z przepływem jednorazowym .....	168
7.6.1.2	Otwarty system z recyrkulacją .....	170
7.7	Przykładowe obliczenia względnych oszczędności energii w chłodniach wodnych.....	171
7.7.1	Woda przybrzeżna a wieże chłodnicze.....	171
7.7.2	Woda rzeczna a wieże chłodnicze .....	172
7.7.3	Woda gruntowa a wieża chłodnicza .....	172
7.8	Dodatkowe oddziaływania na środowisko .....	172
<b>8</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła dla przemysłowych systemów chłodniczych z przepływem jednorazowym i występowanie przecieków.....</b>	<b>174</b>
8.1	Projektowanie płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła dla systemów chłodzenia z jednorazowym przepływem.....	175
8.2	Przecieki w płaszczowo-rurowych wymiennikach ciepła .....	177
8.3	Alternatywne rozwiązania .....	179
<b>9</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Przykład wyboru materiału dla systemu wody chłodniczej w zastosowaniach przemysłowych (za wyjątkiem energetyki) .....</b>	<b>180</b>
9.1	Wprowadzenie.....	180
9.2	Bezpośrednie systemy z przepływem jednorazowym (z wodą słoną) .....	181
9.3	System pośredni z przepływem jednorazowym (woda słona/woda demineralizowana) .....	184
9.4	Otwarte systemy chłodzące z recyrkulacją.....	184
9.4.1	Zastosowanie świeżej wody w otwartej mokrej wieży chłodniczej .....	184
9.4.2	Zastosowanie wody zasolonej w otwartych, mokrych wieżach chłodniczych .....	185
<b>10</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Przegląd substancji chemicznych doprowadzanych do wodnych systemów chłodniczych .....</b>	<b>186</b>
10.1	Inhibitory korozji .....	186
10.1.1	Korozja.....	186
10.1.2	Zastosowanie inhibitorów korozji .....	186
10.2	Inhibitory kamienia kotłowego .....	187
10.2.1	Osadzanie kamienia.....	187
10.2.2	Stosowanie inhibitorów kamienia .....	188
10.3	Inhibitory osadów (rozpraszacze osadów) .....	189
10.3.1	Osady .....	189
10.3.2	Zastosowanie inhibitorów osadów .....	189
10.4	Biocydy .....	190
10.4.1	Bioosady.....	190
10.4.2	Stosowane uzdatnianie biocydami .....	193
10.4.3	Biocydy utleniające.....	194
10.4.4	Biocydy nieutleniające .....	196

10.4.5	Czynniki określające stosowanie biocydów .....	197
10.4.6	Wzajemne oddziaływanie z innymi substancjami chemicznymi do uzdatniania wody .....	200
10.5	Cykle stężenia i bilans wody .....	200
<b>11</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Przykład ustawy obowiązującej w Państwach Członkowskich Unii Europejskiej</b>	<b>202</b>
<b>12</b>	<b>ZAŁĄCZNIK Przykład koncepcji bezpieczeństwa dla otwartych mokrych układów chłodniczych (koncepcja VCI - Związku Przemysłu Chemicznego w Niemczech).....</b>	<b>206</b>
12.1	Wstęp do koncepcji .....	206
12.2	Wymagania koncepcji .....	208
12.3	Załącznik 1 – Automatyczny analityczny monitoring układów z jednorazowym przepływem .....	208
12.4	Załącznik 2 – określenia-R użyte do wyznaczenia punktacji VCI .....	209
<b>13</b>	<b>ZAŁĄCZNIK PRZYKŁADY OCENY ŚRODKÓW CHEMICZNYCH ZAWARTYCH W WODZIE CHŁODZĄCEJ .....</b>	<b>212</b>
13.1	Pojęcie porównawczej oceny środków chemicznych zawartych w wodzie chłodzącej .....	212
13.1.1	Wprowadzenie .....	212
13.1.1.1	Podstawa .....	213
13.1.1.2	Odpowiednie podstawowy ustawodawcze .....	213
13.1.1.3	Ramowa dyrektywa wodna (WFD).....	214
13.1.2	Metoda porównawcza: wprowadzenie do koncepcji .....	215
13.1.2.1	PNEC .....	215
13.1.2.2	PEC .....	216
13.1.3	Podstawowy bilans substancji w wieży chłodniczej .....	217
13.1.3.1	Podstawowe równania wieży chłodniczej .....	218
13.1.3.2	Bilans wody .....	218
13.1.3.3	Bilans minerałów .....	218
13.1.3.4	Stężenie .....	218
13.1.3.5	Omówienie .....	219
13.1.4	Obliczenie stężenia PEC i porównywanie .....	220
13.1.5	Metody obliczeń .....	221
13.1.5.1	Uzdatnianie pojedynczą substancją .....	221
13.1.5.2	Uzdatnianie złożone .....	222
13.1.6	Załącznik I: wyciąg z dokumentu pomocy technicznej .....	223
13.2	Metoda lokalnej oceny środków do uzdatniania wody chłodzącej, ze szczególnym uwzględnieniem biocydów .....	227
13.2.1	Wprowadzenie .....	227
13.2.2	Elementy kluczowe .....	228
13.2.3	Przykład zaproponowanej metody oceny lokalnej .....	231
<b>14</b>	<b>ZAŁĄCZNIK PRZYKŁADOWY MODEL SŁUŻĄCY OSZACOWANIU EMISJI ŚRODKÓW BIOBÓJCZYCH (biocydów) W WODZIE SPUSTOWEJ.....</b>	<b>235</b>
<b>15</b>	<b>ZAŁĄCZNIK KOSZTY INWESTYCYJNE I EKSPLOATACYJNE WYPOSAŻENIA ORAZ ELEMENTÓW SYSTEMÓW CHŁODZENIA DLA ZASTOSOWAŃ INNYCH NIŻ W ELEKTROWNIACH.....</b>	<b>236</b>
<b>16</b>	<b>Załącznik Przykładowe techniki które należy wziąć pod uwagę w pierwotnym podejściu bat dla przemysłowych systemów chłodzenia .....</b>	<b>242</b>
16.1	Wstęp .....	242
16.2	Oszczędności wody chłodzącej dzięki jej ponownemu wykorzystaniu .....	243
16.2.1	Ponowne wykorzystanie (zużytej) wody do uzupełniania w wieżach chłodniczych .....	243
16.2.2	Systemy z zerowym zrzutem wody .....	246
16.2.3	Baseny rozbryzgowo .....	247
16.2.4	Akumulacja zimna .....	248
16.3	Redukcja emisji dzięki optymalnemu uzdatnianiu wody .....	249
16.3.1	Boczny obieg biofiltracji w otwartych cyrkulacyjnych obiegach wody chłodzącej .....	249
16.3.2	Metody fizyczne .....	252
16.3.3	Optymalizacja użycia biocydów .....	256
16.3.3.1	Monitorowanie .....	256
16.3.3.1.1	Monitorowanie makro-osadów .....	256
16.3.3.1.2	Ocena aktywności biologicznej i działania biocydów poprzez znakowanie biocydów ..	257
16.3.3.2	Dozowanie biocydów .....	257
16.3.3.2.1	Różne metody uzyskania optymalnego całkowitego rocznego wykorzystania utleniaczy dla zapobiegania mikro- i makro-osadom w otwartych przepływowych układach chłodzenia .....	257
16.3.3.2.2	Chlorowanie pulsacyjne ze zmienną częstotliwością w otwartych układach chłodzenia z jednorazowym przepływem .....	260
16.3.4	Alternatywne metody uzdatniania wody chłodzącej .....	263
16.3.4.1	Ozonowanie .....	263

16.3.4.2	Uzdatnianie promieniami ultrafioletowymi (UV) .....	265
16.3.4.3	Katalityczne uzdatnianie wodą utlenioną .....	266
16.3.4.4	Dwutlenek chloru .....	267
16.3.4.5	Oczyszczanie jonowe wody w celu uzdatnienia wody w wieżach chłodniczych .....	270
16.3.4.6	Stabilizacja fluorowcowanych biocydów w wodzie dla wież chłodniczych .....	271
16.3.4.7	Środek tworzący warstwę ochronną (film) przeciwko zabrudzeniu, korozji i osadzaniu kamienia .....	272
16.3.4.8	Stabilne organiczne inhibitory korozji w otwartych wyparnych wieżach chłodniczych .....	274
16.3.5	Uzdatnianie zrzucanej wody chłodzącej .....	275
16.4	Silniki z przetwornikami częstotliwości - obniżenie zużycia energii elektrycznej .....	276
<b>17</b>	<b>Załącznik Zastosowania specjalne: przemysł energetyczny .....</b>	<b>277</b>
	Streszczenie .....	277
17.1	Wprowadzenie .....	278
17.2	Układy chłodzenia elektrowni - zasady działania i uwagi .....	278
17.3	Potencjalne oddziaływanie układów chłodzenia na środowisko .....	280
17.3.1	Emisje ciepła do atmosfery .....	280
17.3.2	Podgrzewanie wód przyjmujących .....	282
17.3.3	Zasysanie organizmów żywych do układu .....	283
17.3.4	Zmiany w środowisku wodnym spowodowane przez zanieczyszczenia środkami chemicznymi .....	284
17.3.5	Inne szkodliwe skutki zastosowania niektórych układów chłodzenia .....	288
17.4	Wstępna analiza lokalizacji: niezbędne narzędzia dla oceny oczekiwanej wydajności, kontrola wpływu i zapobieganie szkodliwym efektom .....	289
17.4.1	Analiza lokalizacji .....	289
17.4.2	Modelowanie matematyczne, symulacje na modelach oraz testy na obiektach pilotowych – pierwsze, niezbędne narzędzia projektowe .....	290
17.5	Dobór urządzeń i materiałów .....	290
17.5.1	Mokre chłodzenie .....	290
17.5.2	Chłodzenie hybrydowe (mieszane) .....	292
17.5.3	Chłodzenie powietrzem .....	293
17.5.3.1	Skrapłacze powietrzne z wymuszonym obiegiem powietrza .....	293
17.5.3.2	Skrapłacze powietrzne z grawitacyjnym obiegiem powietrza .....	294
17.5.3.3	Suche wieże chłodnicze z obiegiem zamkniętym .....	294
17.5.4	Wieże chłodnicze z wyrzutem oczyszczonych gazów spalinowych .....	295
17.6	Porównanie kosztów pomiędzy różnymi typami wież chłodniczych .....	296
17.7	Wybór alternatywnych metod uzdatniania wody – monitoring .....	299
17.7.1	Uzdatnianie w celu zapobiegania tworzeniu się osadów kamienia kotłowego .....	299
17.7.2	Uzdatnianie zapobiegające powstawaniu osadów biologicznych (biocydy) .....	300
17.7.3	Monitoring .....	301
17.8	Projektowanie systemów chłodzenia .....	301
17.8.1	Projektowanie i odzysk energii .....	302
17.8.2	Projektowanie i sposoby ograniczania hałasu .....	302
17.8.3	Wdrażanie metod fizycznych .....	303
17.8.4	Modelowanie i projekty pilotażowe .....	303
17.8.5	Wybór systemu chłodniczego .....	303
17.9	Wnioski .....	304
17.10	Literatura .....	305
17.11	Ilustracje .....	313

## Spis tabel

Tabela 1.1: Poziomy temperatur, stosowane zakresy.....	52
Tabela 1.2: Średnia wartość emisji z elektrowni w Europie Zachodniej przy spadku sprawności o 3%.....	53
Tabela 1.3: Względny efekt dostarczania energii elektrycznej ze względu na zastosowanie wież chłodniczych, mokrych, mokrych/suchych i suchych do jednostek 1300 MW <sub>e</sub> .....	54
Tabela 1.4: Wpływ wyboru systemu chłodzenia (mokre, mokre/suche lub suche wieże chłodnicze dla bloku elektrociepłowni o mocy grzewczej 290 MW <sub>th</sub> ).....	54
Tabela 1.5: Kryteria wyboru miejsca dla układu chłodzenia o dużych wymaganiach.....	61
Tabela 1.6: Warunki klimatyczne w Europie.....	64
Tabela 1.7: Porównanie różnych systemów chłodzenia z wymaganiem maksymalnym poziomem natężenia hałasu.....	69
Tabela 1.8: Opcje unowocześnienia istniejących instalacji.....	71
Tabela 1.9: Przykład zmiany systemu z jednorazowym przepływem na system z recyrkulacją.....	72
Tabela 1.10: Przykład zmiany przestarzałej wieży chłodniczej z mechanicznym wymuszeniem przepływu powietrza na rozwiązanie nowsze.....	73
Tabela 1.11: Przykład zamiany przestarzałego wypełnienia w wieży chłodniczej z wymuszeniem mechanicznym na wypełnienie nowoczesne wysokosprawne.....	74
Tabela 1.12: Przykład usprawnienia charakterystyki akustycznej w wyniku zastosowania dodatkowej osłony przed hałasem.....	74
Tabela 2.1: Przykładowe techniczne i termodynamiczne parametry różnych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych (nie w elektrowniach).....	77
Tabela 2.2: Przykłady wydajności i właściwości termodynamicznych różnych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych.....	78
Tabela 2.3 Rachunek kosztów dla systemów chłodzonych wodą i powietrzem.....	104
Tabela 3.1: Problemy ochrony środowiska dla różnych przemysłowych systemów chłodzenia.....	108
Tabela 3.2: Przykładowe zestawienie zapotrzebowania na bezpośrednią i pośrednią energię właściwą w różnych systemach chłodzenia oraz jego wpływ na emisje CO <sub>2</sub> na MW <sub>th</sub> .....	113
Tabela 3.3: Zapotrzebowanie na wodę w różnych systemach chłodzenia.....	116
Tabela 3.4: Ilość ryb ginących w elektrowniach. Wartości odnoszą się do 1 roku przy znormalizowanym przepływie wody chłodzącej.....	121
Tabela 3.5 Dostępne technologie ochrony ryb stosowane w ujęciach wody chłodzącej.....	122
Tabela 3.6: Wymagania termiczne odnośnie temperatury wody dla dwóch systemów ekologicznych (dyrektywa europejska 78/659/EWG).....	125
Tabela 3.7: Składniki chemiczne używane przy uzdatnianiu wody w systemach mokrych otwartych z recyrkulacją i bez recyrkulacji.....	129
Tabela 3.8: Zużycie podchlorynu w mokrych systemach chłodzenia w Holandii.....	130
Tabela 3.9: Średnie zapotrzebowanie na powietrze dla różnych systemów chłodzenia.....	152
Tabela 3.10: Przykładowe wydajności i związane z nimi nietłumione natężenie hałasu powstającego przy eksploatacji systemów chłodzących w dużych rafineriach.....	158
Tabela 3.11: Porównanie natężenia dźwięku na wlocie i wylocie powietrza mierzone dla różnych typów mokrych wież chłodniczych o konstrukcji konwencjonalnej.....	159
Tabela 3.12: Emisja hałasu nietłumionego emitowanego przez różne systemy chłodzenia.....	159
Tabela 3.13: Przykład ilustrujący wzrost kosztów dla różnych konstrukcji wentylatorów związany z obniżeniem poziomu emisji hałasu.....	163
Tabela 3.14: Wpływ temperatury i biocydów na poziom CFU w wieżach chłodniczych.....	172
Tabela 4.1 Przykłady wymagań procesów technologicznych i najlepszych dostępnych technik BAT.....	159
Tabela 4.2 Przykłady cech charakterystycznych związanych z lokalizacją i najlepszych dostępnych technik BAT.....	160
Tabela 4.3 Najlepsze dostępne techniki BAT dla zwiększenia ogólnej sprawności energetycznej.....	164
Tabela 4.4 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia zapotrzebowania na wodę.....	166
Tabela 4.5 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia wciągania/porywania organizmów.....	167
Tabela 4.6 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji do wody w projektowaniu i sposobach eksploatacji.....	170
Tabela 4.7 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji do wody przez optymalizację uzdatniania wody chłodzącej.....	172
Tabela 4.8 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji do powietrza.....	175
Tabela 4.9 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji hałasu.....	176
Tabela 4.10 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia ryzyka nieszczelności.....	177
Tabela 4.11 Najlepsze dostępne techniki dla ograniczenia biologicznego wzrostu.....	179
Tabela I.1: Współczynniki zanieczyszczenia osadami dla płaszczowo-rurowych wymienników ciepła, zalecane wartości.....	156
Tabela I.2 Ciepło właściwe powietrza i wody.....	158



Tabela I.3 Współczynniki przenikania ciepła i oszacowana powierzchnia A (m <sup>2</sup> ) na 1 MW i dla średniej różnicy temperatur 20K dla różnych zastosowań przemysłowych .....	159
Tabela I.4 Wpływ sposobu chłodzenia na wydajność, temperaturę spiętrzenia i powierzchnię chłodzącą w układzie chłodzenia.....	159
Tabela II.1: Zużycie energii w kW <sub>e</sub> , zapotrzebowania en. elektrycznej/ MW <sub>th</sub> , chłodzenia przy czystym wymienniku ciepła ...	157
Tabela II.2: Najniższa osiągalna średnia temperatura zasilania wody chłodzącej dla różnych systemów chłodzenia w lipcu i sierpniu w Holandii.....	158
Tabela II.3: Współczynniki oszczędności dla systemów chłodniczych z jednorazowym przepływem i z recyrkulacją.....	172
Tabela II.4: Oszczędność energii dla różnych źródeł wody chłodzącej.....	173
Tabela IV.1: Typ materiału i prędkość wody chłodzącej.....	180
Tabela IV.2: Materiały używane do budowy pomp do wody słonawej.....	182
Tabela IV.3: Materiały stosowane do budowy płaszczowo-rurowych wymienników ciepła do słonawej wody	182
Tabela V.1: Przegląd osadów i organizmów blokujących oraz poziom osadów w wodzie morskiej, słonawej i świeżej. W ostatniej kolumnie podano sposoby działań przeciwosadowych.....	191
Tabela V.2: Określone poziomy zużycia zwykle używanych, utleniających biocydów w kilku państwach UE.	194
Tabela V.3: Szacunkowe poziomy zużycia powszechnie stosowanych biocydów nieutleniających w niektórych Państwach Członkowskich (w kg/rok).....	197
Tabela.VII.1: Punktacja dla różnych określeń-R dla obliczenia całkowitego wyniku dla substancji .....	207
Tabela VII.2: Wymagania koncepcji bezpieczeństwa VCI dla technologii chłodzenia.....	208
Tabela VII.3 Opis określeń-R użytych do wyznaczenia punktacji-VCI dla systemów chłodzenia .....	209
Tabela VIII.1: Obliczenie stężenia PEC i porównywanie.....	220
Tabela VIII.2: Współczynnik oceny do uzyskania PNEC .....	225
Tabela VIII.3 Prognozowane stężenie DBPNA w różnych wodach powierzchniowych dla niniejszego przykładu .....	233
Tabela VIII.4 Dane ekologiczne DBPNA.....	234
Tabela VIII.5 Konsekwencje zamknięcia wylotu .....	234
Tabela X.1: Składniki kosztów dla mokrego i suchego systemu chłodzenia .....	238
Tabela X.2: Koszty dla mokrych i suchych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych z wyłączeniem elektrowni (1993-1995).....	240
Tabela XI.1: Koszty inwestycji i energii na MW <sub>th</sub> wydajności basenu rozbryzgowego i wieży chłodniczej .....	248
Tabela XI.2: Fizyczne metody uzdatniania ograniczające do minimum stosowanie biocydów .....	254
Tabela XI.3: Wpływ stosowania zoptymalizowanej metody dozowania na ilość nieszczelności spowodowanych przez małże. ....	261
Tabela XI.4: Typowe dawki dwutlenku chloru dla układów z jednorazowym przepływem i zamkniętych w Europie.....	269
Tabela XI.5: Efekt stosowania dwutlenku chloru na osadzenia się larw małży (larvae) układach otwartych przepływowych.....	269
Tabela XII.1: Przykład uproszczonego bilansu cieplnego nowej konwencjonalnej elektrowni .....	278
Tabela XII.2: Zestawienie zależności między zainstalowaną mocą a parametrami układu chłodzenia.....	279
Tabela XII.3: Porównanie różnych typów systemów chłodzenia obiegowego z czasem pracy 25 lat i współczynnikiem aktualizacji 8% (badania na jednostkach EDF o mocy 1300 MWe).....	297
Tabela XII.4: Porównanie mokrych wież i skraplaczy chłodzonych powietrzem z czasem pracy 20 lat i współczynnikiem aktualizacji 8% dla obiegu skojarzonego jednostki o mocy 290MW <sub>th</sub> .....	297
Tabela XII.5 Powiązania między współczynnikiem zageszczania, przepływem wody zrzutowej i energią oddawaną do cieku wodnego (przykład indywidualny).....	299



## Spis rysunków

Rysunek 1.1: Struktura czynników wpływających na (BAT) dla systemów wytwarzania ciepła odpadowego ...	48
Rysunek 1.1: (kontynuacja): Struktura czynników wpływających na (BAT) dla systemów wytwarzania ciepła odpadowego .....	50
Rysunek 1.2: Planowana powierzchnia wymiany ciepła wieży w funkcji procentu czasu, gdy przekroczona jest projektowana temperatura mokrego termometru (temperatury zakładane 40/24/18°C).....	58
Rysunek 2.1: Schemat przedstawiający bezpośredni system chłodzenia z jednorazowym przepływem .....	80
Rysunek 2.2: Schemat prezentujący system chłodzenia z jednorazowym przepływem z wieżą chłodniczą stosowany w przemyśle energetycznym .....	82
Rysunek 2.3: Schemat prezentujący pośredni system chłodzenia z jednorazowym przepływem.....	82
Rysunek 2.4: Schemat prezentujący otwarty system chłodzenia z recyrkulacją.....	83
Rysunek 2.5: Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza w przeciwnym kierunku.....	87
Rysunek 2.6: Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza w przepływie krzyżowym .....	87
Rysunek 2.7: Wieża chłodnicza z grawitacyjnym przepływem powietrza i wentylatorem pomocniczym.....	88
Rysunek 2.8: Schemat zastosowania wieży chłodzącej z przepływem przeciwnym .....	89
Rysunek 2.9: Schemat wieży chłodniczej z powietrzem zasysanym, przepływ krzyżowy.....	90
Rys. 2.10 Schemat budowy wieży chłodniczej z grawitacyjnym przepływem powietrza .....	92
Rys. 2.11 Przykład wieży chłodniczej w zastosowaniu przemysłowym.....	93
Rys. 2.12 Schemat systemu chłodzenia suchym powietrzem .....	94
Rys. 2.13 Przykład zastosowania systemu chłodzenia cieczy powietrzem w przemyśle chemicznym.....	94
Rys. 2.14 Schemat układu ze skraplaczem chłodzonym powietrzem .....	95
Rys. 2.15 Przykład skraplacza chłodzonego powietrzem do skraplania pary wylotowej z turbiny .....	96
Rys. 2.16 Schemat mokrej wieży chłodniczej z zasysaniem powietrza chłodzącego .....	98
Rys. 2.17 Schemat hybrydowej wieży chłodniczej (przykład stosowany w przemyśle energetycznym) .....	99
Rys. 2.18 Schemat prezentujący hybrydową wieżę chłodniczą z obiegiem zamkniętym .....	101
Rys. 2.19 Łączony sposób eksploatacji hybrydowego układu chłodzenia.....	102
Rysunek 3.1: Graficzna prezentacja zależności pomiędzy różnymi zjawiskami związanymi z jakością wody..	128
Rysunek 3.2: Schemat projektowy dla systemów z chłodzeniem wodnym z redukcją ilości stosowanych biocydów.....	136
Rysunek 3.3: „Podejście” do redukcji zużycia biocydów w przemysłowych systemach chłodzonych wodą.....	137
Rysunek 3.4 Wykres przedstawiający stężenie substancji uzdatniającej wynikające z niewłaściwie prowadzonego monitoringu i dawkowania .....	146
Rysunek 3.5: Wykres przedstawiający stężenie substancji uzdatniającej wynikające z właściwie prowadzonego monitoringu i dawkowania.....	147
Rysunek II.1 Ilustracja obszarów możliwych oszczędności energii poprzez zmniejszenie gradientu temperatur w warstwie osadów, jak i przez zastosowanie chłodniejszej wody na zasileniu.....	156
Rysunek II.2: Graficzne przedstawienie zanieczyszczeń wywołujących dodatkowy spadek temperatury na ścianie rury .....	159
Rysunek II.3 Schematyczna prezentacja celu wdrożenia w zależności od długości wymiennika ciepła .....	160
Rysunek II.4 Liczba pomp wody chłodzącej i zmiana wysokości podnoszenia wody chłodzącej w wyniku osadów .....	162
Rysunek II.5 Zmiana przyrostu temperatury produktu gazowego w przeciwnym kierunku wymienniku ciepła w wyniku osadów .....	163
Rysunek II.6 Wzrost ciśnienia roboczego dla kompensacji wzrostu temperatury, spowodowanego osadami ...	165
Rysunek II.7 Sprawność wytwarzania mocy dla pomp, wentylatorów i sprężarek .....	166
Rysunek III.1: Główne elementy wymiennika ciepła płaszczowo-rurowego .....	174
Rysunek III.2: Klasyfikacja wymienników ciepła (Normy Tubular Exchanger Manufacturers Association - TEMA).....	176
Rysunek V.1: Wieża i bilans cząstek stałych dla systemu chłodzenia z odparowaniem, wykorzystującego wieżę chłodniczą .....	200
Rysunek V.2: Zmniejszenie strumienia wody uzupełniającej w zależności od stężenia, w systemie chłodzenia z odparowaniem.....	201
Rysunek VIII.1 Bilans substancji w wieży chłodniczej .....	218
Rysunek VIII.2 Zintegrowane podejście do oceny biocydów w wodzie chłodzącej dla istniejących instalacji .	230
Rysunek VIII.3 Schematyczna prezentacja systemu chłodzenia z recyrkulacją z danymi dla przykładu dla metody lokalnego wyboru środków chemicznych systemu chłodzenia .....	232
Rysunek XI.1 Zoptymalizowane dozowanie podchlorynu (chlorowanie pulsacyjne ze zmienną częstotliwością) z uwzględnieniem osadzania i charakterystyki układu chłodzenia .....	262
Rysunek XII. 1: System z jednorazowym przepływem .....	313
Rysunek XII. 2: Mokra wieża chłodnicza.....	313
Rysunek XII. 3: Chłodzenie z jednorazowym przepływem z wieżą chłodniczą .....	314
Rysunek XII. 4: Chłodzenie recyrkulacyjne.....	314

Rysunek XII. 5:	Wieża chłodnicza z wymuszonym obiegiem powietrza (wentylatory tłoczące) .....	315
Rysunek XII. 6:	Wieża chłodnicza z wymuszonym obiegiem powietrza (wentylatory ssące, konstrukcja modułowa)	315
Rysunek XII. 7:	Wieża chłodnicza z wymuszonym obiegiem powietrza (wentylatory tłoczące, konstrukcja modułowa)	316
Rysunek XII. 8:	Hybrydowa wieża chłodnicza .....	316
Rysunek XII. 9:	Skrapalacz chłodzony powietrzem z wymuszonym przepływem powietrza .....	317
Rysunek XII. 10:	Skrapalacz chłodzony powietrzem z naturalnym przepływem powietrza .....	317
Rysunek XII. 11:	Chłodzenie powietrzem w obiegu zamkniętym z medium pośredniczącym.....	318
Rysunek XII. 12:	Wieża chłodnicza z wyrzutem oczyszczonych gazów spalinowych.....	318
Rysunek XII. 13:	System chłodzenia ze stałym współczynnikiem zagęszczenia.....	319
Rysunek XII. 14:	System chłodzenia z przesuwającym się współczynnikiem zagęszczenia.....	319
Rysunek XII. 15:	Schemat decyzyjny dotyczący wyboru systemu chłodzenia.....	320

## WSTĘP

### 1. Status niniejszego dokumentu

O ile nie zaznaczono inaczej, termin „dyrektywa” oznacza w niniejszym dokumencie dyrektywę Rady 96/61/WE w sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń (IPPC). Niniejszy dokument stanowi część z serii prezentującej wyniki wymiany informacji pomiędzy Państwami Członkowskimi UE i poszczególnymi gałęziami przemysłu na temat najlepszych dostępnych technik (BAT - ang. *Best Available Techniques*), wspólnego monitoringu i ich rozwoju. Został on opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z postanowieniami art. 16 ust. 2 dyrektywy i dlatego, zgodnie z załącznikiem IV do dyrektywy, musi być brany pod uwagę przy określaniu „najlepszych dostępnych technik”.

### 2. Istotne zobowiązania prawne wynikające z dyrektywy IPPC oraz definicja najlepszych dostępnych technik BAT

Aby ułatwić czytelnikowi zrozumienie kontekstu prawnego niniejszego dokumentu, we wstępie tym przedstawiono niektóre najważniejsze postanowienia dyrektywy IPPC, w tym definicję terminu „najlepsze dostępne techniki”. Prezentacja ta jest z konieczności niepełna i ma wyłącznie charakter informacyjny. Nie posiada ona mocy prawnej i w żaden sposób nie zmienia oryginalnych postanowień dyrektywy ani nie ma na nie wpływu.

Celem niniejszej dyrektywy jest osiągnięcie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń powstających w wyniku działań wymienionych w załączniku I, prowadzącego do wysokiego poziomu ochrony środowiska jako całości. Podstawa prawna dyrektywy związana jest z ochroną środowiska naturalnego. Jej realizacja powinna przebiegać również w oparciu o inne cele Wspólnoty takie, jak na przykład konkurencyjność przemysłu wspólnotowego, przyczyniając się przez to do zrównoważonego rozwoju.

Uściślając, dyrektywa ta przewiduje stworzenie systemu pozwoleń dla pewnych kategorii instalacji przemysłowych i wymaga zarówno od ich użytkowników, jak i od tworzących przepisy przyjęcia zintegrowanego, całościowego podejścia do potencjału danej instalacji w zakresie zanieczyszczeń i zużycia surowców. Ogólnym celem takiego podejścia musi być poprawa zarządzania i kontroli procesów przemysłowych, która zapewni wysoki poziom ochrony środowiska jako całości. Kluczowe znaczenie dla tego podejścia ma ogólna zasada przedstawiona w art. 3, zgodnie z którą użytkownicy powinni podjąć wszystkie właściwe działania zapobiegające zanieczyszczeniom, w szczególności poprzez stosowanie najlepszych dostępnych technik umożliwiających im osiągnięcie lepszych wyników w zakresie ochrony środowiska.

Określenie „najlepsze dostępne techniki” zostało zdefiniowane w art. 2 ust. 11 dyrektywy jako „najbardziej skuteczne i zaawansowane stadium w rozwoju działań i metod eksploatacji, wskazujące na praktyczną przydatność poszczególnych technik do zapewnienia podstawy dla określenia granicznych wielkości emisji służących zapobieganiu, a gdy nie jest to możliwe, ogólnie ograniczaniu emisji i wpływu na środowisko jako całość”. W art. 2 ust. 11 definicja ta zostaje dodatkowo wyjaśniona w następujący sposób:

„techniki” obejmują zarówno stosowaną technologię, jak i sposób zaprojektowania, budowy, utrzymania, eksploatacji i wycofania z użycia danej instalacji;

„dostępne” techniki są to te techniki, które zostały rozwinięte w skali umożliwiającej ich wdrożenie w danych sektorach przemysłowych na warunkach opłacalnych z ekonomicznego i technicznego punktu widzenia, przy uwzględnieniu kosztów i korzyści, niezależnie od tego, czy techniki te są stosowane lub produkowane w danym Państwie Członkowskim, o ile są one w rozsądnym zakresie dostępne dla użytkownika;

„najlepsze” oznacza najskuteczniejsze w osiąganiu ogólnie wysokiego poziomu ochrony środowiska jako całości.

Ponadto, załącznik IV dyrektywy zawiera wykaz „okoliczności, które należy uwzględnić generalnie, lub w poszczególnych przypadkach, przy określaniu najlepszych dostępnych technik, biorąc pod uwagę prawdopodobne koszty i korzyści związane z zastosowaniem danego środka oraz zasady ostrożności i zapobiegania”. Okoliczności te obejmują informacje publikowane przez Komisję zgodnie z art. 16 ust. 2.

Właściwe organy odpowiedzialne za wydawanie pozwoleń przy określaniu warunków pozwolenia muszą brać pod uwagę ogólne zasady podane w art. 3. Warunki te muszą obejmować graniczne wielkości emisyjne, które tam, gdzie stosowne zostaną uzupełnione lub zastąpione przez równoważne parametry lub środki techniczne. Zgodnie z art. 9 ust. 4 dyrektywy te graniczne wielkości emisyjne, równoważne parametry i środki techniczne muszą – bez uszczerbku dla standardów jakości środowiska – opierać się na najlepszych dostępnych technikach, bez zalecania stosowania jakiegokolwiek techniki lub konkretnej technologii, lecz przy uwzględnieniu właściwości technicznych danej instalacji, jej lokalizacji geograficznej oraz lokalnych warunków środowiska. W każdych okolicznościach warunki pozwolenia muszą obejmować postanowienia dotyczące minimalizacji emisji zanieczyszczeń o dalekim zasięgu oraz zanieczyszczeń transgranicznych i muszą gwarantować wysoki poziom ochrony środowiska jako całości.

Zgodnie z art. 11 dyrektywy, Państwa Członkowskie mają obowiązek zapewnić, by właściwe organy zapoznawały się z rozwojem najlepszych dostępnych technik lub były o nim informowane.

### **3. Cele niniejszego dokumentu**

Art. 16 ust. 2 dyrektywy zobowiązuje Komisję do organizowania „wymiany informacji pomiędzy Państwami Członkowskimi oraz zainteresowanymi gałęziami przemysłu na temat najlepszych dostępnych technik, związanego z nimi monitorowania oraz ich rozwoju” oraz do publikowania wyników takiej wymiany informacji.

Cele tej wymiany informacji przedstawiono w wyszczególnieniu 25 dyrektywy, w którym stwierdzono, że „opracowanie i wymiana informacji na temat najlepszych dostępnych technik na szczeblu wspólnotowym pomoże w niwelowaniu nierównowagi technologicznej w obrębie Wspólnoty, przyczyni się do upowszechniania na całym świecie granicznych wielkości emisyjnych i technik stosowanych we Wspólnocie oraz pomoże Państwu Członkowskim w skutecznej realizacji niniejszej dyrektywy.”

Aby pomóc w wykonywaniu zadań przewidzianych w art. 16 ust. 2 Komisja (Dyrekcja Generalna ds. środowiska) utworzyła forum wymiany informacji (IEF), w obrębie którego utworzono szereg Technicznych Grup Roboczych. Zarówno w IEF, jak i w Technicznych Grupach Roboczych uczestniczą przedstawiciele Państw Członkowskich i przedstawiciele przemysłu, zgodnie z wymaganiami art. 16 ust. 2.

Celem tej serii dokumentów jest wierne przedstawienie wymiany informacji, która odbyła się zgodnie z wymogami art. 16 ust. 2 oraz dostarczenie organom udzielającym pozwoleń

informacji, które zostaną uwzględnione przy określaniu warunków pozwoleń. Dostarczając odpowiednich informacji dotyczących najlepszych dostępnych technik, dokumenty te powinny spełniać rolę wartościowych narzędzi wpływających na wyniki w zakresie ochrony środowiska.

#### **4. Źródła informacji**

Niniejszy dokument stanowi zestawienie informacji zaczerpniętych z wielu źródeł, w tym w szczególności wiadomości opracowanych przez grupy utworzone w celu wspierania Komisji w jej pracach, poddane weryfikacji przez służby Komisji. Wyrażamy wdzięczność za wkład wniesiony przez wszystkie strony.

#### **5. Jak rozumieć i stosować niniejszy dokument**

Informacje zawarte w niniejszym dokumencie mają być wykorzystywane jako materiał źródłowy przy określaniu najlepszych dostępnych technik BAT w poszczególnych przypadkach. Podczas określania BAT i ustalania warunków pozwoleń opartych na BAT należy zawsze brać pod uwagę ogólny cel, jakim jest osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony środowiska jako całości.

W dalszej części wstępu opisano różne rodzaje informacji przedstawione w kolejnych rozdziałach niniejszego dokumentu.

W rozdziale 1 przedstawiono informacje na temat kwestii chłodzenia procesów przemysłowych oraz poziomego podejścia przyjętego przy prezentowaniu najlepszych dostępnych technik BAT dla przemysłowych systemów chłodzenia.

Rozdział 2 opisuje systemy chłodzenia i ich konfiguracje, które są często stosowane w przemyśle. Ponadto znajdują się tu informacje na temat poziomów emisji związanych z tymi systemami oraz omówienie odpowiednich zagadnień środowiskowych.

Rozdział 3 przedstawia te zagadnienia w bardziej szczegółowy sposób, omawiając metody redukcji emisji i inne techniki uznawane za odpowiednie przy ustalaniu najlepszych dostępnych technik BAT, zarówno w celach ogólnych, jak i na potrzeby warunków wydawania pozwoleń. W miarę potrzeby dane te uwzględniają również informacje na temat możliwych poziomów zużycia surowców i emisji dotyczących stosowanych systemów chłodzenia. Techniki powszechnie uznawane za przestarzałe nie zostały tu opisane.

Rozdział 4 stanowi podsumowanie informacji o ogólnych najlepszych dostępnych technikach BAT w ramach podstawowego podejścia BAT. Stwierdza się, że najlepsze dostępne techniki dla przemysłowych systemów chłodzenia rzeczywiście są zależne od indywidualnych uwarunkowań każdej instalacji.

W rozdziale 5 przedstawiono ogólne wnioski wynikające z procesu wymiany informacji w związku z przemysłowymi systemami chłodzenia oraz zaprezentowano zalecenia dla przyszłych prac.

Dwanaście załączników zawiera dodatkowe informacje na temat termodynamiki, energii, czynników operacyjnych, jak również technik i praktyk, jakie należy wziąć pod uwagę przy stosowaniu najlepszych dostępnych technik BAT w przemysłowych systemach chłodzenia

Celem tego podsumowania jest podanie ogólnych wskazówek dotyczących poziomów zużycia i emisji, które można traktować jako punkt odniesienia przy określaniu warunków wydawania pozwoleń opartych na BAT lub przy ustalaniu ogólnych zasad wiążących na

mocy art. 9 ust. 8. Należy jednak podkreślić, że w niniejszym dokumencie nie proponuje się granicznych wielkości emisji. Przy określaniu odpowiednich warunków pozwoleń trzeba będzie wziąć pod uwagę czynniki lokalne, specyficzne dla danego miejsca takie, jak charakterystyka techniczna danej instalacji, jej lokalizacja geograficzna oraz lokalne warunki środowiska. W przypadku istniejących instalacji należy również rozważyć sensowność ich ulepszenia z ekonomicznego i technicznego punktu widzenia. Nawet tak oczywisty cel, jakim jest zapewnienie wysokiego poziomu ochrony środowiska jako całości, będzie często wymagał wyważenia ocen różnych oddziaływań na środowisko, zaś na ostateczną ocenę często będzie miała wpływ sytuacja lokalna.

Chociaż podjęto próbę omówienia niektórych z tych kwestii, nie jest możliwe ich pełne rozważenie w niniejszym dokumencie. Z tego względu techniki i poziomy przedstawiane w rozdziałach 3 i 4 nie muszą być odpowiednie dla wszystkich instalacji. Z kolei obowiązek zagwarantowania wysokiego poziomu ochrony środowiska, w tym minimalizacji emisji zanieczyszczeń na dużą odległość i zanieczyszczeń transgranicznych, sprawia, że warunki wydawania pozwoleń nie mogą być ustalane wyłącznie na podstawie okoliczności lokalnych. Tak więc kwestią najwyższej wagi jest to, aby organy wydające pozwolenia w pełni uwzględniły informacje zawarte w niniejszym dokumencie.

Ponieważ najlepsze dostępne techniki BAT zmieniają się z biegiem czasu, niniejszy dokument w razie potrzeby będzie podlegał rewizji i aktualizacji. Wszystkie uwagi i sugestie należy kierować do Europejskiego Biura IPPC w Instytucie Przyszłościowych Badań Technologicznych (Institute for Prospective Technological Studies) pod następujący adres:

Edificio Expo-WTC, Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Seville - Spain

Telefon: +34 95 4488 284

Faks: +34 95 4488 426

e-mail: [eippcb@jrc.es](mailto:eippcb@jrc.es)

Internet: <http://eippcb.jrc.es>



## ZAKRES

Niniejszy dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik BAT dla przemysłowych systemów chłodzenia jest dokumentem horyzontalnym, w którym opisane zostały systemy chłodzenia używane powszechnie w ramach procesów przemysłowych opisanych w załączniku 1 do dyrektywy IPPC. Sektorami przemysłowymi, które w istotny sposób wiążą się z zagadnieniami chłodzenia są sektor chemiczny, spożywczy, szklarski, żelaza i stali, rafineryjny, papierniczy oraz spalanie. Najwięcej informacji i doświadczeń odnośnie systemów chłodzenia zgromadzonych zostało w przemyśle energetycznym. Przemysł ten charakteryzuje się także relatywnie największym bezpośrednim i pośrednim wpływem na środowisko przy zbliżonej do optymalnej eksploatacji systemów chłodzenia. W oddzielnym załączniku poświęcono temu sektorowi szczególną uwagę i przeprowadzono ocenę wszelkich rozbieżności pomiędzy elektrowniami a innymi procesami przemysłowymi. Chociaż instalacje do produkcji energii nuklearnej nie wchodzi w zakres załącznika 1 do dyrektywy IPPC, stosowane w ich przypadku techniki ochrony środowiska zostały rozważone w niniejszym dokumencie w związku systemami chłodzenia stosowanymi w konwencjonalnych sekcjach tych instalacji. Nie uwzględniono natomiast systemów chłodzenia stosowanych w małych spalarniach, ani systemów klimatyzacji stosowanych w przemyśle i gospodarstwach domowych.

Zakres terminu „systemy chłodzenia” w niniejszym dokumencie referencyjnym ogranicza się do systemów usuwania ciepła odpadowego z jakiegokolwiek medium przy użyciu wymiany ciepła za pośrednictwem wody i/lub powietrza w celu obniżenia temperatury danego medium do temperatury otoczenia. Zagadnienie to obejmuje jedynie część systemów chłodzenia i wyklucza kwestie związane z substancjami chłodzącymi takimi, jak amoniak i związki CFC. W niniejszym dokumencie nie przeprowadzono także oceny bezpośrednich kontaktowych systemów chłodzenia oraz skraplaczy barometrycznych, ponieważ urządzenia te uważa się za zbyt specyficzne dla konkretnych procesów. W zakres niniejszego dokumentu wchodzi następujące przemysłowe systemy chłodzenia lub ich konfiguracje:

- systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem (z wieżą chłodniczą lub bez),
- otwarte systemy chłodzenia z recyrkulacją (natryskowe wieże chłodnicze),
- systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym:
  - systemy chłodzenia z przepływem powietrza
  - mokre systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym
- hybrydowe systemy chłodzenia:
  - hybrydowe wieże chłodnicze z obiegiem otwartym,
  - hybrydowe wieże chłodnicze z obiegiem zamkniętym.

W niniejszym dokumencie opisane zostały najlepsze dostępne techniki BAT dla systemów chłodzenia, które są uważane za systemy pomocnicze dla głównych operacji procesów przemysłowych. Uważa się, że prawidłowe działanie systemu chłodzenia ma pozytywny wpływ na prawidłowy przebieg procesu przemysłowego. Jednakże funkcje przemysłowych systemów chłodzenia związane z bezpieczeństwem procesów przemysłowych nie wchodzi w zakres niniejszego dokumentu referencyjnego BAT.

W ramach „podejścia” horyzontalnego integracja oznacza uwzględnienie wszystkich istotnych aspektów środowiskowych oraz ich wzajemnych zależności ze świadomością, że zestawienie różnych aspektów wymaga specjalistycznej oceny. Tam gdzie stosowne wskazano na znaczenie poziomów emisji osiąganych przez dany system chłodzenia w ramach wyników osiąganych w całym procesie przemysłowym.

W dokumencie tym uwzględniono następujące aspekty środowiskowe oraz metody i techniki ograniczania emisji:

- znaczenie projektu urządzeń i projektu procesu oraz materiałów i konserwacji;
- zużycie zasobów (wody, powietrza, energii, substancji chemicznych);
- emisje substancji chemicznych i ciepła do wody i powietrza;
- emisje hałasu i oparów;
- gromadzenie odpadów oraz emisje do gleby i habitatów lądowych;
- aspekty ryzyka;
- zanieczyszczenia powstające na szczególnych etapach procesu (uruchamianie/zatrzymywanie) lub przy wypadkach;
- rozbiórka instalacji.

W niniejszym dokumencie przedstawiony zostanie przegląd technik dostępnych dla przemysłowych systemów chłodzenia. Celem tego dokumentu nie jest jednak wskazanie najlepszego systemu chłodzenia, ani dyskwalifikacja któregośkolwiek ze stosowanych procesów. Nie zostaną także podane wskazówki, czy dany proces przemysłowy w ogóle wymaga zastosowania systemu chłodzenia. Oznacza to, że w niniejszym dokumencie brak będzie szczegółowych informacji na temat samych procesów przemysłowych, które wymagają zastosowania chłodzenia, a przedstawione zostaną jedynie ogólne wiadomości na temat rozwiązań w zakresie ogólnej wydajności energetycznej. Dokument ten został sporządzony zgodnie z „ogólnym” podejściem prowadzącym do zrównoważonego wyboru pomiędzy nowymi systemami a środkami optymalizacji istniejących systemów w celu zapobieżenia emisjom do środowiska związanym z eksploatacją systemów chłodzenia.

## SŁOWNIK

Terminologia używana w przypadku różnych aspektów przemysłowych układów chłodzenia bardzo się różni i często różne nazwy odpowiadają temu samemu elementowi. W celu uniknięcia pomyłek oraz dodatkowych wyjaśnień w tekście dokumentu, poniżej podano kilka definicji poszczególnych wyrażen i skrótów.

### Definicje termodynamiczne

#### Temperatura spiętrzenia

(1) w przepływowych wymiennikach ciepła: różnica temperatur pomiędzy temperaturą medium opuszczającego wymiennik ciepła, a medium napływającego na wymiennik.

(2) w układzie odparowania (np. mokra wieża chłodnicza), różnica pomiędzy temperaturą medium opuszczającego system chłodzenia, a temperaturą mokrego termometru powietrza dopływającego do wieży chłodniczej lub do układu chłodzenia z odparowaniem.

(3) w skraplaczu patrz **różnica końcowa**.

#### Obliczeniowa temperatura suchego termometru

Temperatura, od której zależą właściwości powietrza dla jakich projektowany jest wymiennik. Zazwyczaj używa się wartości 95% - zakłada się, że temperatura nie przekroczy 95% przyjętej wartości temperatury. *Temperatura suchego termometru*, to temperatura charakterystyczna dla *jawnej wymiany ciepła*.

#### Obliczeniowa temperatura mokrego termometru

Najniższa temperatura, do której może być schłodzone powietrze przy adyabatycznym odparowaniu wody. Temperatura ta odpowiada za *wymianę ciepła utajonego*. *Zakładana temperatura mokrego termometru* to temperatura nasycenia powietrza, która jest wykorzystywana do projektowania wymiennika ciepła z odparowaniem. Zazwyczaj używa się wartości 95% - zakłada się, że temperatura nie przekroczy 95% przyjętej wartości temperatury. Temperatura mokrego termometru jest zawsze niższa od temperatury suchego termometru.

#### Ilość ciepła odprowadzonego

Ilość ciepła, jaka może być odprowadzona przez układ chłodzenia mierzona w  $\text{kW}_{\text{th}}$  (lub  $\text{MW}_{\text{th}}$ ).

#### Wymiana ciepła utajonego

Wymiana ciepła przez odparowanie wody w powietrzu. Wymiana ciepła przez odparowanie wody jest o wiele efektywniejsza niż wymiana ciepła w powietrzu.

<b>Poziom ciepła odpadowego</b>	Poziom temperatury, przy jakim ciepło musi zostać wymienione. Zależnie od procesu, ciepło odpadowe powstaje na określonych poziomach temperatur.
<b>LMTD</b>	Średnia logarytmiczna różnica temperatur to miara siły napędowej wymiany ciepła, która zależy od temperatury zimnego strumienia (chłodziwa) i temperatury chłodzonego medium.
<b>Zakres</b>	<i>Zakres</i> to różnica temperatur pomiędzy wlotem i wylotem w wymienniku ciepła.
<b>Wymiana ciepła jawnego</b>	Wymiana ciepła przez przewodzenie i konwekcję nazywana jest <i>wymianą ciepła jawnego</i> .
<b>Różnica końcowa</b>	To różnica temperatur w skraplaczu. Odnosi się do różnicy temperatur pomiędzy temperaturą pary wchodzącej na skraplacz (albo skroplonej pary opuszczającej skraplacz) i temperatury medium schładzającego (wody) opuszczającej skraplacz. Wartości „różnicy końcowej” są w zakresie 3 do 5 K.
<b>Ciepło odpadowe</b>	<i>Ciepło odpadowe</i> jest bezużyteczne, niemożliwe do odzysku, musi zostać usunięte w procesie przemysłowym lub rzemieślniczym i przetransportowane do środowiska.
<b>Inne definicje</b>	
<b>Podejście BAT</b>	Metodologia prezentowana w tym dokumencie dotycząca definicji najlepszych dostępnych technik BAT dla przemysłowych układów chłodzenia w celu identyfikacji technik objętych tym terminem
<b>Współczynnik biokoncentracji</b>	Zdolność substancji do bioakumulacji rozumiana jako stosunek stężenia substancji w organizmie do stężenia tej substancji w wodzie (w stanie równowagi). Biokoncentracja jest zawsze wyznaczana eksperymentalnie.
<b>Zrzut (BD, kg/s)</b>	Celowe odprowadzenie wody z układu chłodzenia w celu zrównoważenia bilansu wzrastającego stężenia ciał stałych w układzie chłodzenia, a w praktyce jest to woda, która musi być usunięta z wyparnego układu chłodzenia w celu kontrolowania stężenia ciał stałych w obiegu. Jest ona szacowana jako $BD = E \cdot 1 / (x - 1)$ , gdzie E to strata wody przez odparowanie a x to stężenie. Obliczenie zrzutu zazwyczaj obejmuje także straty nie związane z odparowaniem takie jak unoszenie z powietrzem, unoszenie kropeł i przecieki.

<b>Biocyd</b>	Substancja chemiczna, która zabija lub spowalnia rozwój niepożądanych organizmów. W systemach chłodzonych wodą, biocydy zabijają lub spowalniają rozwój makro- i mikroorganizmów, przez to minimalizuje się zanieczyszczenie układu chłodzenia związkami organicznymi. Najważniejsze biocydy to: chlor, podchloryn sodowy, ozon, poczwórny amon i brom organiczny.
<b>Zapotrzebowanie na biocydy</b>	Ilość biocydów, która jest zredukowana lub przekształcana w formę obojętną lub mało aktywną przez substancje występujące w wodzie lub ilość biocydów, która całkowicie przereagowuje ze wszystkimi materiałami wrażliwymi na biocydy.
<b>Zapotrzebowanie biochemiczne na tlen (BZT) (także zapotrzebowanie biologiczne na tlen)</b>	Ilość tlenu potrzebna do rozłożenia materii organicznej występującej w wodzie. Większe ilości substancji organicznej wymagają większej ilości tlenu i mogą zmniejszyć ilość tlenu dostępną dla ryb i życia w wodzie do poziomu poniżej akceptowanego. Można ją określać standardowym testem pięciodniowym (BZT <sub>5</sub> ) albo siedmiodniowym (BZT <sub>7</sub> ).
<b>Szlam pochodzenia biologicznego</b>	Powłoka bakterii, która nabudowuje się na każdym przedmiocie zanurzone w wodzie; składa się z alg i populacji mikrobiologicznej, tworzącej szlam produkujący bakterie i bakterie anaerobowe, redukujące siarkę. Mikroosad powoduje powstawanie makroosadu pochodzenia biologicznego.
<b>Punkt wstrzymania</b>	Zapotrzebowanie biocydów ze względu na właściwości utleniające zanieczyszczeń wody musi przekraczać stężenie biocydów mających recyrkulować w wodzie chłodzącej w stanie aktywnym.
<b>Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)</b>	Miara zdolności konsumpcji tlenu przez materię organiczną i nieorganiczną obecną w wodzie lub wodzie wylotowej (woda ciepła odpadowa); ilość tlenu, jaką pobrał utleniający się związek chemiczny w trakcie specjalnego testu (analiza utleniania dwuchromianu).
<b>Powłoki</b>	Materiały zastosowane na powierzchni celem uzyskania powierzchni o niskim współczynniku tarcia w celu obniżenia strat ciśnienia albo warstwa ochronna chroniąca przed erozją, korozją i osadzaniem się osadów.

<b>Współczynnik stężeniowy (CR)</b>	Współczynnik stężenia to stosunek stężenia danej substancji w wodzie chłodzącej będącej w obiegu do stężenia w wodzie uzupełniającej. Jest liczony jako $CR = MU/BD$ , gdzie MU to woda uzupełniająca, a BD woda zrzutowa.
<b>Skraplacz</b>	Chłodnica używana do skraplania strumienia gazu (lub pary). Kondensacja wpływa na wymagania stawiane przed wymiennikiem ciepła: musi być tam miejsce dla objętości pary. Dlatego też skraplacze stosowane w przemyśle energetycznym są dużych rozmiarów i o specjalnej konstrukcji.
<b>Chłodziwo</b>	Synonim dla czynnika chłodzącego. W wielu przypadkach chłodziwem jest woda lub powietrze, ale czasem może to być woda z substancją przeciwdziałającą zamarzaniu lub medium takie jak olej czy gaz.
<b>Korozja</b>	Może być definiowana jako niszczenie metalu przez reakcje (elektro-)chemiczne występujące w środowisku, w którym dany metal został zastosowany.
<b>Substancje antykorozyjne</b>	Związki chemiczne, które spowalniają proces korozji zachodzący w wodzie. Są to substancje odpowietrzające, inhibitory bierne (chromiany, azotki, molibdenki i ortofosforany), inhibitory strącające (fosforek cynku, węglan wapnia i ortofosforan wapnia), i inhibitory adsorpcyjne (pochodne glikolu, sulfoniany alifatyczne i krzemek sodu).
<b>Przepływ przeciwprądowy</b>	Przypadek przepływu przeciwprądowego powietrza w wymienniku ciepła. W wieżach chłodniczych z przeciwprądem powietrze biegnie ku górze, zaś woda chłodząca płynie w dół. Zapewnia to dobrą wymianę ciepła, bo najzimniejsze powietrze kontaktuje się z najzimniejszą wodą. Woda jest doprowadzana przy pomocy kolektorów i natryskiwaczy.
<b>Przepływ krzyżowy</b>	W wymienniku ciepła powietrze przepływa prostopadle do medium chłodzonego. W wieżach chłodniczych z przepływem krzyżowym powietrze przepływa poziomo przez strumień wody chłodzącej płynący w dół.
<b>Stężenie w obiegu</b>	(lub w „obiegach”) to porównanie poziomu zawartości ciał stałych w wodzie zrzutowej z ich zawartością w wodzie uzupełniającej. Jest to zatem stosunek stężenia soli w wodzie zrzutowej i stężenia soli w wodzie uzupełniającej.
<b>Substancje rozpraszające</b>	albo rozpraszacze to związki chemiczne, które zapobiegają wzrostowi i osadzaniu się cząstek obecnych



---

	<p>w wodzie przez powiększenie ładunku cząstek. Dzieje się to na skutek absorpcji. Wynikiem tego jest odpychanie się cząstek i pozostawanie ich w stanie rozproszonym.</p>
<b>Odkraplacze</b>	<p>Urządzenia zmieniające kierunek przepływu strumienia powietrza, wykorzystujące siłę odśrodkową do wydzielenia kropeł ze strumienia powietrza.</p>
<b>Strata ulotowa</b>	<p>Ubytek wody w postaci małych kropeł, które są emitowane do atmosfery przez wieżę chłodniczą.</p>
<b>Strata odparowania (E, kg/s)</b>	<p>Masa wody chłodzącej, która wyparowała w jednostce czasu w trakcie chłodzenia w systemie natryskowo-wyparnym.</p>
<b>Wolny utleniacz (FO)/ Całkowita szczątkowa ilość utleniaczy (TRO)</b>	<p>Ilość wolnych utleniaczy w zrzucie z systemów chłodzących. Również TRO, całkowity chlor (TC) lub wolny chlor (FC).</p>
<b>Wolny dostępny chlor (FAC) lub wolny szczątkowy chlor</b>	<p>Wolny chlor reprezentowany jest przez równowagową mieszaninę kwasu podchlorawego i jonów podchlorawych <math>OCl^-</math> w wodzie chłodzącej. Oba te związki są utleniaczami, ale anion <math>OCl^-</math> jest dużo mniej efektywny od <math>HOCl</math>.</p>
<b>Stabilizatory twardości</b>	<p>To substancje chemiczne, które dodane do wody zabezpieczają przed osadzaniem się twardych soli przeciwdziałając krystalizacji soli przez absorpcję zarodków krystalizacji. W ten sposób umożliwia się powstawanie kryształków amorficznych, które jest relatywnie łatwo utrzymywać w rozproszeniu i zapobiegać ich osadzaniu się.</p>
<b>Substancje niebezpieczne</b>	<p>Substancje lub grupy substancji, które mają jedną lub wiele cech niebezpiecznych takich jak toksyczność, trwałość, bioakumulacja, albo są sklasyfikowane jako niebezpieczne dla ludzi lub środowiska zgodnie z dyrektywą 67/548 (Substancje niebezpieczne).</p>
<b>Makroosad</b>	<p>Organizmy niepożądane w wodzie obiegowej w systemie chłodzącym, które są widoczne gołym okiem. Do tego makroosadu zalicza się muszle, wąsonogi i <u>serpulid</u> wieloszczety, które pokrywają ścianki elementów obiegu chłodzącego swoimi wapiennymi ściankami, organizmy filamentowe takie jak gąbki, mszywioly i <u>tunucates</u>.</p>

<b>Woda uzupełniająca (M, kg/s)</b>	Masa wody na jednostkę czasu, która jest dodawana do układu w celu uzupełnienia ubytków wody na skutek odparowania i zrzutu wody chłodzącej.
<b>Maksymalny dopuszczalny poziom ryzyka</b>	Stężenie danej substancji w wodzie, przy którym niezagrożone jest 95% gatunków żyjących. Istotnymi aspektami są tu toksyczność i uleganie rozkładowi.
<b>Wieża chłodnicza z przepływem wywołanym mechanicznie /z ciągiem wymuszonym</b>	Wieża chłodnicza wyposażona w wentylatory, które tłoczą (chłodnie z wymuszonym obiegiem powietrza) lub zasysają powietrze chłodzące (chłodnie z indukowanym obiegiem powietrza).
<b>Mikroosad</b>	Szlam pochodzenia organicznego definiowany jako powłoka, która rozwija się na każdym ciele zanurzone w wodzie. Składa się z alg i populacji mikrobiologicznej, zawierającej produkty przemiany materii bakterii i anaerobowych bakterii redukujących związki siarczanowe. Mikroosad powoduje rozwój makroosadu.
<b>Wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza</b>	Wieże chłodnicze o dużych rozmiarach bez wentylatorów, działające na zasadzie różnicy gęstości powietrza dopływającego do wieży i cieplejszego powietrza wewnątrz wieży. W ten sposób tworzy się tzw. ciąg naturalny.
<b>Biocydy nieutleniające</b>	Przeważnie substancje organiczne używane do uzdatniania wody chłodzącej, szczególnie w układach chłodzenia z recyrkulacją. Ich działanie jest bardziej charakterystyczne od biocydów utleniających w stopniu większym lub mniejszym dane mikroorganizmy. Oddziałują one przez wchodzenie w reakcję z niektórymi składnikami komórek mikroorganizmów lub zakłócają ciąg przemian metabolicznych w komórce mikroorganizmu.
<b>Biocydy utleniające</b>	Przeważnie substancje nieorganiczne stosowane szczególnie w układach z jednorazowym przepływem czynnika chłodzącego zapobiegające narastaniu osadów. Ich dokładne działanie jest nieokreślone. Biocydy utleniają błonę komórkową lub przenikają w głąb komórki by reagować z jej składnikami. Działanie ich jest szybkie, a ze względu na swoje ogólne działanie mają szersze spektrum od biocydów nieutleniających.
<b>Opary</b>	Chmura kondensowanej pary wodnej widoczna u wylotu wieży chłodniczej.

<b>Strącanie zmiękczające</b>	Proces ten jest prowadzony w celu zmniejszenia twardości wody, jej alkaliczności, redukcji krzemianów i innych składników. Do wody dodaje się wapnia lub mieszaniny wapnia i popiołów sodowych (jony węglanowe). W ten sposób zmiękcza się wodę o średniej i dużej twardości (stężenie 150-500 ppm CaCO <sub>3</sub> ).
<b>Medium procesowe</b>	<i>Medium procesowe</i> – to pojęcie będzie zawsze stosowane w odniesieniu do medium podlegającego chłodzeniu.
<b>Tworzenie się kamienia</b>	Proces strącania w układach schładzania, gdy stężenie soli w warstewce wody przy powierzchni wymiennika ciepła przekroczy stężenie graniczne rozpuszczalności.
<b>Poziom głośności (L<sub>p</sub>)</b>	Miara <u>emisji</u> dźwięku – poziom głośności w zdefiniowanym kierunku i odległości od źródła dźwięku. Miarą są decybele w paśmie częstotliwości lub w poziomie dźwięku A jako dB(A). Jest to skala logarytmiczna, więc podwojenie głośności powoduje sześciokrotny wzrost w skali A: 6 dB(A).
<b>Poziom natężenia dźwięku (L<sub>w</sub>)</b>	Miara energii dźwięku <u>wypromieniowywanej</u> (emitowanej) przez źródło dźwięku. Miarą są decybele w paśmie częstotliwości lub w poziomie dźwięku A jako dB(A). Jest to skala logarytmiczna, więc podwojenie natężenia dźwięku powoduje trzykrotny wzrost w skali A: 3 dB(A).
<b>Czas połowicznego rozpadu</b>	Czas potrzebny do obniżenia o 50% stężenia początkowego nie rozkładającego się składnika.
<b>Całkowita ilość chloru (TAC)/ całkowita śladowa ilość chloru (TRC)</b>	Suma chloru wolnego i związanego w systemie wody schładzającej, wraz z chlorem związanym w postaci chloroamin lub innych składników posiadających wiązanie N-C.
<b>Całkowita śladowa ilość utleniaczy (TRO)</b>	Wydajność utleniania mierzona w układzie chłodzącym przy pomocy metody stechiometrycznej (jodyna-jodyna). (TRO) to numeryczny i fizyczny odpowiednik (TRC) i (TAC).
<b>Napęd z regulowaną prędkością obrotową</b>	Sposób kontroli prędkości obrotowej silnika, zazwyczaj elektronicznie przy pomocy inwertera. Szybkość ta może być nastawiana ręcznie, ale najczęściej jest regulowana automatycznie dzięki pomiarom takich parametrów jak: ciśnienie, poziom przepływu etc.

## Skróty i akronimy

Skrót/akronim	Wyjaśnienie	Numer strony oryginalu
ACC	skraplacz chłodzony powietrzem	304
AOX	adsorbowane organiczne chlorowce(X = Cl, Br)	98
ATP	adenozynotrójfosforan	103
BAT	najlepsze dostępne techniki BAT	1
BCDMH	bromo-chloro-dwumetylo hydantoina	212
BCF	współczynnik biokoncentracji	245
BNPD	broomnitropropaandiol	130
BNS	$\beta$ -brom- $\beta$ -nitrostyren	98
BZT	biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (nazywane także biologicznym zapotrzebowaniem na tlen)	23
BPM	najlepsze metody praktyczne	108
BREF	dokument referencyjny BAT	5
BTM	najlepsze metody techniczne	108
CCA	siarczan miedzi, dwuchromian potasu, pięciotlenek arseniku	132
CFU	komórki tworzące kolonię	154
COD	chemiczne zapotrzebowanie na tlen	23
CWS	układ chłodzenia wodnego	26
DBNPA	dwubromo-nitrylopropioamid	95
DPD	N-N-dwuetylo-p-fenylendwuamina	103
EDF	Electricité de France	36
EIPPCB	Europejskie Biuro IPPC w Sewilli (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau)	3
EOX	halogenki (X = Cl, Br) możliwe do wydzielenia przez ekstrakcję	278
EQS	środowiskowe normy jakości	10
EUR lub €	europejska jednostka pieniężna	48
FAC	wolny chlor	24
FO	wolny utleniacz	11
FRO	wolny resztkowy utleniacz	15
IEF	forum wymiany informacji	2
€ lub EUR	europejska jednostka pieniężna	10
kW <sub>th</sub> lub kW <sub>e</sub>	1000 W (moc cieplna lub elektryczna)	9
LD	Choroba Legionistów	128
<i>Lp</i>	<i>Legionella pneumophila</i>	128
mg/l	miligram na litr	15
MBT	metyleno(bis)tiocyjanek	98
MIC	korozja mikrobiologiczna	205
Mt lub Mt	tona metryczna	188
MW <sub>th</sub> lub MW <sub>e</sub>	1000000 W (moc cieplna lub elektryczna)	8
mwg	metr słupa wody	82
<i>Nf</i>	<i>Naegleria fowleri</i>	128
NOEC	nie zaobserwowano efektu	82
PEC	przewidywane stężenie w środowisku	15

PHMB	poliheksametylenobiguaninochlorek (QAC)	130
PNEC	przewidywany brak efektu stężeniowego	15
P <sub>ow</sub>	udział na bazie n-octanolu i wody.	108
ppm	jedna część na milion	26
RIZA	niderlandzki instytut wodny zajmujący się wodą śródlądową i obróbką ścieków	155
QAC	związki amoniaku	130
QSARs	ilościowa aktywność strukturalna	245
TBTO	trójbutylotlenek	105
TDS	całkowita ilość rozpuszczonych soli	263
TEMA	Związek Wytwórców Wymienników Rurowych	194
THM	trójhalometany	211
TOC	całkowita ilość węgla organicznego	221
TRO	całkowita śladowa ilość utleniacza	24
TWG	Techniczna Grupa Robocza (TWG)	17
UV	ultrafiolet (światło)	95
VCI	Związek Przemysłu Chemicznego w Niemczech	14
VDI	Związek Inżynierów Niemieckich	118
VFD	napęd ze zmienną prędkością obrotową.	290
WFD	projekt dyrektywy o wodzie (do zatwierdzenia)	144

# 1 OGÓLNE UJĘCIE ZAGADNIENIA BAT W ODNIESIENIU DO PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW CHŁODZENIA

W wielu zastosowaniach przemysłowych ciepło musi być usuwane przy pomocy specjalnych systemów, które nazywa się albo układami zrzutowymi ciepła odpadowego albo systemami chłodzenia. Praca tych systemów niesie ze sobą pewne konsekwencje dla środowiska. Stopień i charakter oddziaływania na środowisko są różne i zależą od rodzaju chłodzenia i sposobu pracy danych systemów. W celu zminimalizowania tego wpływu należy określić tzw. „podejście”, które polega na poprawnym projektowaniu i doborze stosowanych technik, przez co ma chronić przed emisją zanieczyszczeń.

W ramach Zintegrowanego Zapobiegania i Ograniczania Zanieczyszczeń (IPPC), chłodzenie należy traktować jako integralną część gospodarki energetycznej procesu przemysłowego. Celem jest zużycie nadmiaru mocy cieplnej pochodzącej z jednego procesu na innych odcinkach technologicznych tego samego procesu lub w innych procesach na terenie, gdzie znajdują się dane technologie. Dzięki temu minimalizuje się strumień ciepła odpadowego zrzucanego do otoczenia. Będzie to wpływało na całkowitą wydajność cieplną procesu i zmniejszało zapotrzebowanie na chłodzenie przy wymaganej wydajności systemu i przy danych wymaganiach procesowych. Optymalizacja wydajności energetycznej jest jednakże zadaniem bardzo złożonym i jest uważana za wysoce indywidualną dla danego procesu, a to czyni ją zbyt szeroką jak na ramy poniższego dokumentu przeglądowego. Jeśli nie ma możliwości ponownego wykorzystania ciepła w miejscu wytworzenia, nie musi to oznaczać automatycznie zrzucenia strumienia ciepła do otoczenia. Należy rozpatrzyć wykorzystanie go w innych zastosowaniach przemysłowych i komercyjnych. Kończąc ten wątek należy zauważyć, że jeśli możliwości ponownego użycia strumienia ciepła zostały już w pełni wykorzystane, należy wziąć pod uwagę zrzut zbędnego strumienia ciepła do otoczenia.

Po oszacowaniu wielkości strumienia ciepła, które ma być usunięte, należy dokonać pierwszego wyboru techniki schładzania. Wiele poziomów emisji wynikających z pracy systemu chłodzenia zależy od właściwego wykonania projektu i wyboru odpowiedniego materiału do jego realizacji, z uwzględnieniem wymagań procesowych i warunków lokalnych. Z raportów wynika, że 80% poziomów emisji systemów chłodzenia jest już określona na etapie projektowania, a pozostałe 20% zależy od sposobu pracy systemu (jest to tzw. zasada 80/20). Przy wyborze najlepszych dostępnych technik BAT dla zredukowania szkodliwego wpływu chłodzenia na środowisko należy poddać rozważnej analizie wiele różnych czynników. Zaraz na początku warto sobie uświadomić, że chociaż system chłodzenia jest tylko systemem pomocniczym, to jest on bardzo ważny i mocno związany z procesem technologicznym. Dlatego każda zmiana wprowadzona w proces chłodzenia może mieć potencjalny wpływ na wydajność procesu przemysłowego lub produkcyjnego podlegającego chłodzeniu.

Z tego względu kompleksowe oszacowanie poziomów zużycia i emisji systemu chłodzenia oraz decyzja o zastosowaniu odpowiedniego sposobu chłodzenia powinna uwzględniać całkowity poziom emisji do środowiska danego zakładu oraz wymagania procesu technologicznego i związane z tym koszty. Należy zagwarantować potrzebny stopień chłodzenia przy minimalnych konsekwencjach dla środowiska naturalnego. Potrzebny poziom chłodzenia zależy od danego procesu. Niektóre procesy nie są wrażliwe na chwilowe wzrosty temperatury, lecz w przypadku innych taki wzrost może mieć duży wpływ na oddziaływanie na środowisko całego zakładu przemysłowego.

Według IPPC osiągnięte efekty środowiskowe systemów chłodzenia omawianych w tym dokumencie referencyjnym BREF muszą być udoskonalone przy zastosowaniu najlepszych



dostępnych technik BAT. Powstaje pytanie czy i w jaki sposób możliwe jest określenie BAT dla systemów chłodzenia w ogóle, skoro ostateczna decyzja dotycząca najlepszych rozwiązań jest uwarunkowana lokalnymi wymaganiami danego procesu, warunkami ekonomicznymi i przepisami ochrony środowiska. Aby uporządkować i nieco uprościć skomplikowany proces określenia BAT, niniejszy dokument stosuje zasady „podejścia” określonego powyżej i zaprezentowanego na rysunku 1.1. „Podejście” to powinno doprowadzić do przemyślanej decyzji o zastosowaniu systemu do chłodzenia i jego optymalizacji opartej o BAT, dotyczącej zarówno urządzeń nowych jak i już pracujących.

BAT składa się z kroków mających na celu redukcję emisji i minimalizację wpływu na środowisko naturalne:

- redukcja ilości ciepła odpadowego, z uwzględnieniem jego ponownego wykorzystania;
- zdefiniowanie wymagań procesowych;
- uwzględnienie ogólnych warunków miejsca pracy instalacji;
- oszacowanie wymagań środowiskowych:
  - możliwości minimalizacji użytkowania źródeł wykorzystywanych mediów
  - możliwości zmniejszenia emisji
- unowocześnienie pracy układu (konserwacja, monitoring, zabezpieczenia)
- uwzględnienie wymagań ekonomicznych

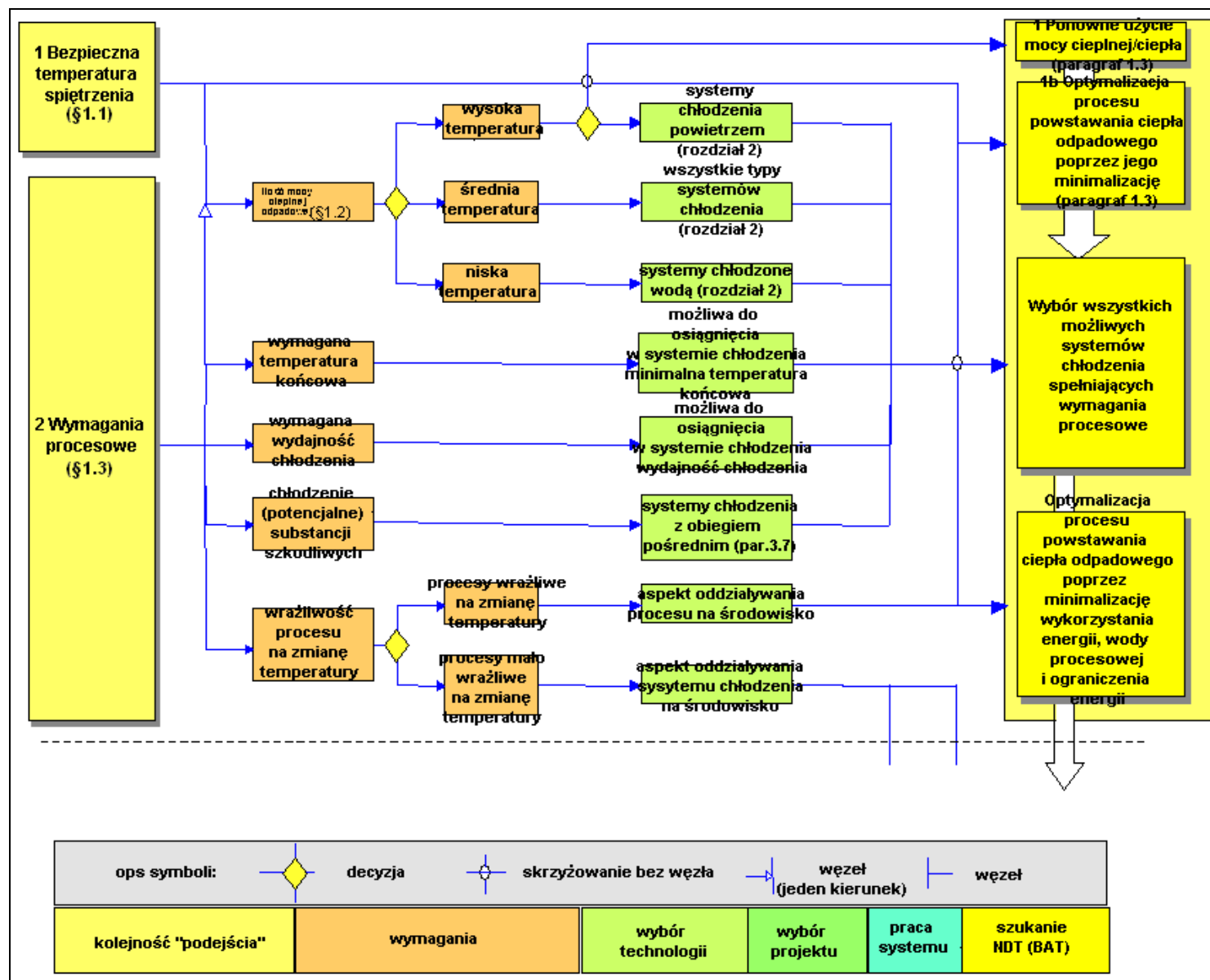
Na rysunku 1.1 zaprezentowano w sposób schematyczny „podejście” BAT, pokazując jednocześnie czynniki wpływające na zastosowanie najlepszych dostępnych technik BAT w przemysłowych systemach chłodzenia. Dla przejrzystości nie przedstawiono wszystkich możliwych zależności pomiędzy różnymi czynnikami wpływającymi na chłodzenie. Dla przykładu, pokazano zależność pomiędzy poziomem tłumienia dźwięku a redukcją bezpośredniego zapotrzebowania na energię oraz zależność pomiędzy możliwością osiągnięcia minimalnej temperatury w systemie chłodzącym a lokalnymi warunkami klimatycznymi.

W dalszej części tekstu „podejście” BAT zostanie omówione w świetle podstawowych zasad działania przemysłowych systemów chłodzenia i, tam gdzie możliwe, dokument wskaże, co oznacza zastosowanie BAT w duchu dyrektywy o Zintegrowanym Zapobieganiu i Ograniczaniu Zanieczyszczeń IPPC. Ze względu na swoją naturę optymalizacja nie może polegać tylko na matematycznym porównaniu różnych rozwiązań. Proces optymalizacji jest równie skomplikowany w przypadku wszystkich bilansów środowiskowych, gdyż wymaga on porównania różnych rodzajów oddziaływania na środowisko oraz określenia, które z nich są najgorsze a które najmniej szkodliwe. Niezależnie od tego, sugerowane „podejście” BAT ma dostarczać ważnych informacji na temat wpływu różnych rozwiązań na środowisko, kosztów, wszelkiego ryzyka oraz czynników wpływających na wybór danych najlepszych dostępnych technik BAT. W oparciu o te informacje, może być podjęta decyzja, która jest właściwsza od decyzji podjętej w oparciu o optymalizację jednego tylko czynnika (np. zapotrzebowania na wodę, zapotrzebowania na energię, parowania lub emisji hałasu, etc.).

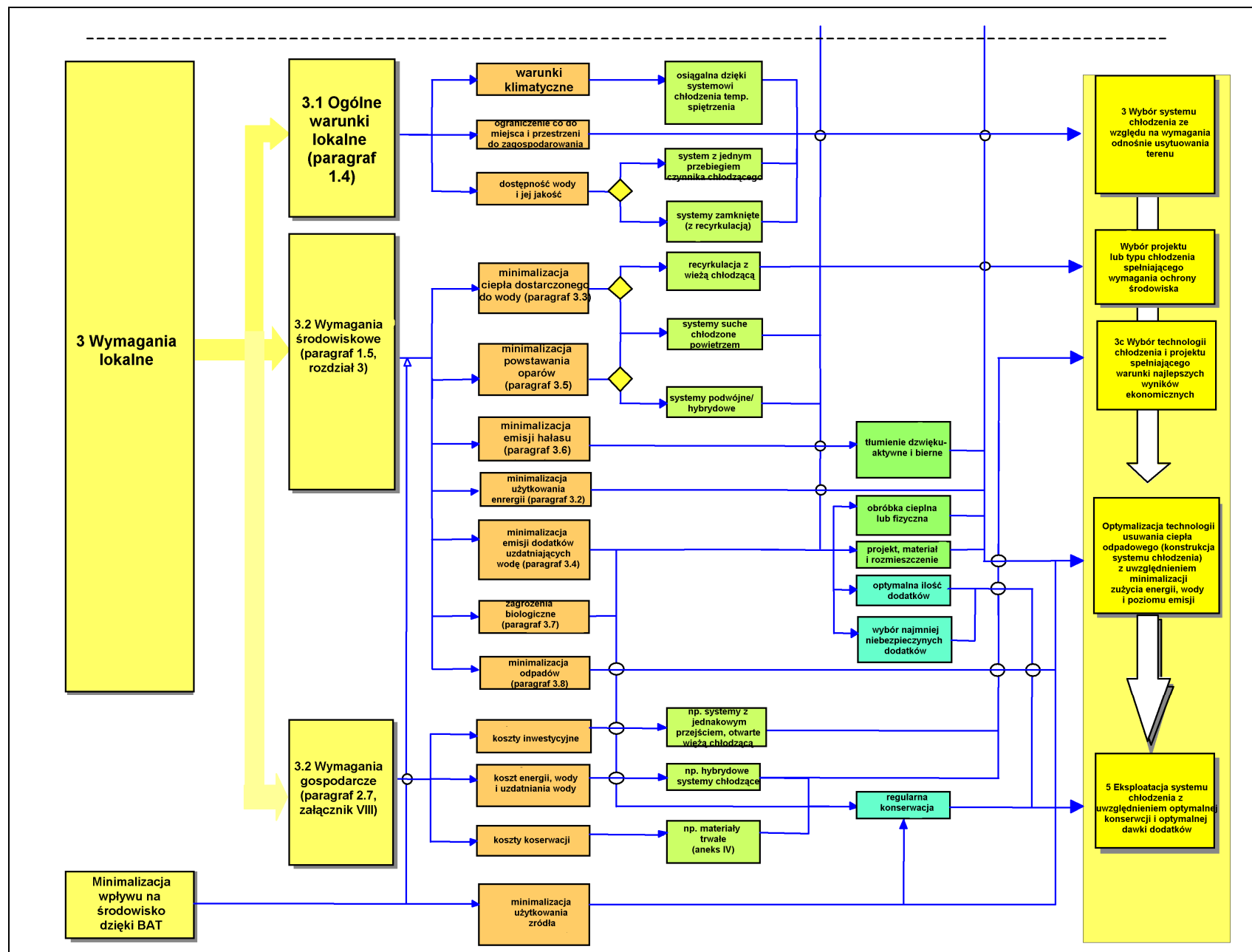
Podane zostaną tu przykłady, które raczej wskazują kierunki zmian niż określają szczegółowo emisje lub redukcje. W razie potrzeby, przedstawiane są dane lub podawane są odnośniki do załączników, lecz dane dotyczące większości parametrów, takich jak zużycie zasobów i emisje przez systemy chłodzenia, są albo ograniczone, albo zbyt charakterystyczne dla danego rozwiązania by znaleźć ogólniejsze zastosowanie.

Podsumowując oszacowanie układu chłodzenia z wyważeniem różnych czynników przeprowadza się przy uwzględnieniu następujących zagadnień:

- pierwszeństwo mają wymagania procesu mającego podlegać chłodzeniu, potem rozważa się zmniejszenie wpływu systemu chłodzenia na środowisko;
- zastosowanie „podejścia” BAT nie ma na celu dyskwalifikacji żadnego z rozwiązań opisanych w rozdziale 2;
- łatwiej można zastosować „podejście” BAT w celu optymalizacji i zapobiegania emisjom w fazie projektowej w przypadku nowych instalacji, chociaż możliwości zmian projektowych powinny być także uwzględnione w przypadku instalacji już istniejących ;
- zatem, w istniejących fabrykach oczekuje się, że „podejście” BAT rozpocznie się od któregoś z kolejnych kroków tworzenia bilansów;
- można uczynić rozróżnienie pomiędzy dużymi, budowanymi na zamówienie systemami chłodzącymi a systemami małymi (produkcja seryjna) w zależności od poziomu oddziaływania na środowisko;
- optymalizacja powinna być rozumiana jako zastosowanie możliwych opcji projektowych, technik redukcji i dobrych praktyk eksploatacyjnych;
- poziom redukcji emisji wynikający z zastosowania BAT jest nie przewidywalny, ale zależy od wymagań dotyczących systemu chłodzenia;
- zgodnie z ideą najlepszych dostępnych technik BAT należy zachować równowagę pomiędzy wymaganiami strony procesowej dotyczącymi eksploatacji systemu chłodzenia a lokalnymi uwarunkowaniami środowiskowymi;
- schematy wyboru są użyteczne w trakcie dokonywania przemyślanego i wyważonego wyboru;
- ostatecznie każdy wynik takiego wyboru spowoduje określony wpływ na środowisko.



**Rysunek 1.1: Struktura czynników wpływających na (BAT) dla systemów wytwarzania ciepła odpadowego**  
**[tm134, Eurovent, 1998]**



**Rysunek 1.1: (kontynuacja): Struktura czynników wpływających na (BAT) dla systemów wytwarzania ciepła odpadowego [tm134, Eurovent, 1998]**



## 1.1 Źródła ciepła, pojemność cieplna i zakres stosowania

Wszystkie procesy przemysłowe i produkcyjne, które korzystają z energii w różnej formie (mechanicznej, chemicznej, elektrycznej, etc.) przekształcają ją na ciepło i hałas. W zależności od procesu ciepło nie zawsze może być całkowicie odzyskane i/lub zużytkowane ponownie, ale musi zostać usunięte przez system chłodzenia. Ciepło, którego nie da się odzyskać, to ciepło odpadowe – jest ono odprowadzane do otoczenia, gdzie ulega rozproszeniu. Poniżej omówiono procesy, w których powstaje dużo ciepła odpadowego i które charakteryzują się wysokim zapotrzebowaniem na chłodzenie. W wielu procesach istnieją różne źródła ciepła odpadowego o różnych poziomach energetycznych: wysokim (powyżej 60°C), średnim (25°C-60°C) i niskim (10°C-25°C). W zakładzie produkcyjnym obok siebie mogą występować procesy o różnych wymaganiach. Duże systemy chłodzenia są używane w przemyśle energetycznym i chemicznym, w rafineriach i w hutach, w przemyśle spożywczym i papierniczym oraz w spalarniach i hutach szkła.

Podobne systemy chłodzenia są stosowane do różnych celów, jak na przykład chłodzenie substancji procesowej w wymienniku ciepła, chłodzenie pomp i sprężarek, układów próżniowych i skraplaczy energetycznych, w których kondensuje para dopływająca z turbiny. Poniżej przedstawiono główne źródła ciepła odpadowego oraz opowiadające im poziomy energetyczne.

- Tarcie – z definicji jest to zamiana energii mechanicznej na ciepło. Systemy chłodzenia w tych procesach są zazwyczaj systemami pośrednimi z olejem jako chłodziwem podstawowym. Ponieważ olej jest używany jako medium chłodzące, system chłodzenia jest wrażliwy na wysokie temperatury. Dlatego średnia temperatura określająca ciepło odpadowe mieści się w średnim poziomie energetycznym.
- Spalanie – jest to zamiana energii chemicznej na ciepło wskutek utleniania paliwa. W procesach spalania ciepło odpadowe jest na różnym poziomie energetycznym.
- Procesy egzotermiczne (chemiczne) – wiele procesów chemicznych jest egzotermicznych: energia chemiczna jest zamieniana na ciepło bez procesu spalania. Procesy egzotermiczne są bardzo często wrażliwe na sprawność usuwania ciepła odpadowego. Poziomy temperatur charakterystyczne dla ciepła odpadowego w tych procesach są średnie lub wysokie, w zależności od procesu.
- Sprężanie – sprężanie gazu prowadzi do powstawania ciepła. Ciepło to zazwyczaj musi być usunięte jako ciepło odpadowe o średnim lub wysokim poziomie energetycznym.
- Kondensacja (obiegi termodynamiczne) – wiele procesów pracuje na zasadach obiegu termodynamicznych. Medium ciekłe ulega odparowaniu, odbierając ciepło, a potem skraplaniu, przekształcając energię na ciepło. Układy termodynamiczne są bardzo wrażliwe na temperaturę i poziom energetyczny ciepła odpadowego odpowiada temperaturom średnim lub niskim.

Poziom energetyczny ciepła odpadowego to bardzo istotny czynnik, który należy wziąć pod uwagę przy wyborze przemysłowego systemu chłodzenia. Tabela 1.1 pokazuje zakresy temperatur medium wymagającego chłodzenia i najodpowiedniejsze systemy chłodzenia. Im wyższy jest poziom, z którego pochodzi ciepło odpadowe, tym trudniej go schłodzić przy pomocy suchego powietrza. W praktyce chłodzenie powietrzem jest często stosowane w takich procesach, gdzie medium wymagające chłodzenia ma temperaturę ponad 60°C. Powyżej 100°C czynnik jest wstępnie schładzany w wymienniku: medium chłodzone - powietrze, o ile nie ma możliwości regeneracji odbieranego ciepła. Chłodzenie wyparne jest często stosowane w przypadku chłodzenia mediów ze średniego i niskiego zakresu temperatur. Dla niskiego zakresu stosuje się systemy z jednorazowym przepływem, szczególnie w przypadku dużych wydajności cieplnych.

W przypadku wyboru systemu chłodzenia nie należy sztywno trzymać się określonych powyżej zakresów temperatur. Ten system chłodzenia, który jest stosowany w przypadku temperatury medium 60°C, może być również stosowany do schładzania medium mającego temperaturę ok. 50°C. Temperatuty zależą w dużym stopniu od warunków lokalnych (klimat i temperatura chłodziwa), które określają możliwość zastosowania konkretnego systemu. Tak więc systemy z jednorazowym przepływem są również stosowane w zakresach wyższych temperatur, pod warunkiem jednak, że nie będzie przekroczona dopuszczalna temperatura na wylocie wody chłodzącej. W przypadku całorocznych procesów chłodzenia, wobec zmieniających się warunków klimatycznych, niezbędne może się okazać użycie łączonego systemu chłodzenia.

**Tabela 1.1: Poziomy temperatur, stosowane zakresy [tm139, Eurovent, 1998]**

Zakres temperatur	Odpowiedni system chłodzenia	Typowe zastosowania
Niska temperatura (10°C-25°C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>systemy z jednorazowym przepływem (bezpośrednie/pośrednie)</li> <li>mokre wieże chłodnicze (mechaniczne/grawitacyjne)</li> <li>hybrydowe wieże chłodnicze</li> <li>łączone systemy chłodzenia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wytwarzanie energii elektrycznej</li> <li>procesy (petro-) chemiczne</li> </ul>
Średnia temperatura (25°C-60°C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>systemy z jednorazowym przepływem (bezpośrednie/pośrednie)</li> <li>mokre wieże chłodnicze (mechaniczne/grawitacyjne)</li> <li>wieże chłodnicze z zamkniętym obiegiem wody</li> <li>skraplacze wyparne</li> <li>powietrzne ochładzaczycie cieczy</li> <li>skraplacze chłodzone powietrzem</li> <li>hybrydowe wieże chłodnicze /skraplacze</li> <li>hybrydowe wieże chłodnicze z obiegiem zamkniętym</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>obiegi chłodnicze</li> <li>sprężarka</li> <li>chłodzenie maszyn</li> <li>chłodzenie autoklawu</li> <li>chłodzenie pieców obrotowych</li> <li>huty</li> <li>cementownie</li> <li>elektrownie w cieplejszych rejonach (klimat śródziemnomorski)</li> </ul>
Wysoka temperatura (powyżej 60°C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>systemy z jednorazowym przepływem (bezpośrednie/pośrednie) w specjalnych przypadkach</li> <li>mokre wieże chłodnicze (mechaniczne/grawitacyjne)</li> <li>chłodnice powietrzne/skraplacze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>spalarnie śmieci</li> <li>chłodzenie silników</li> <li>chłodzenie spalin</li> <li>procesy chemiczne</li> </ul>

## 1.2 System chłodzenia i jego wpływ na sprawność procesu

### 1.2.1 Zastosowania wrażliwe na temperaturę

Wiele procesów chemicznych i przemysłowych to zastosowania krytyczne ze względu na temperaturę. Sprawność procesu jest wrażliwa na temperaturę i/lub ciśnienie, więc jest skorelowana ze sprawnością usuwania ciepła odpadowego. Dla tych procesów „podejście” horyzontalne dotyczące najlepszych dostępnych technik chłodzenia jest połączone z „podejściem” pionowym dotyczącym najlepszej dostępnej technologii procesu. Przykładami zastosowań krytycznych ze względu na temperaturę są:

- produkcja energii elektrycznej,
- obiegi termodynamiczne,
- procesy egzotermiczne.

Zintegrowane zabezpieczenie przed zanieczyszczeniami oznacza, że przy wyborze najlepszej dostępnej technologii chłodzenia, stosowanych technologiach i obróbkach lub sposobach sterowania nimi należy kierować się nie tylko bezpośrednim wpływem na środowisko ze strony różnych systemów chłodzenia, ale także czynnikami pośrednio oddziałującymi na środowisko, mając na uwadze różne wartości sprawności dla różnych procesów. Decyzja, czy powinno to być dokonane na poziomie systemu chłodzenia czy raczej na poziomie całego procesu produkcji, powinna zostać podjęta na poziomie lokalnym. Dla wybranego systemu chłodzenia wzrost czynników wpływających pośrednio może być znacznie większy od zmniejszenia się czynników wpływających bezpośrednio.

Elektrownie (patrz załącznik XII) są najistotniejszymi producentami ciepła odpadowego. Zamiana energii zgromadzonej w paliwach kopalnych na energię elektryczną jest związana z wieloma procesami produkującymi ciepło odpadowe wymienionymi w rozdziale 1.1. Ciepło odpadowe powstaje podczas spalania, w procesach tarcia w turbinie, przy skraplaniu pary i w generatorach prądu elektrycznego. Małe ilości ciepła odpadowego produkuje również oddzielny układ chłodzenia wodnego z którego korzystają systemy pomocnicze olejowe lub gazowe, zapewniające niezakłóconą pracę urządzeń. Jeśli nie mogą być spełnione wymagania dotyczące chłodzenia przy produkcji energii elektrycznej, powoduje to natychmiastowy spadek całkowitej sprawności układu i zwiększoną emisją do atmosfery.

Zależność tę przedstawiono poniżej na przykładzie elektrowni, w której alternatywny, przypuszczalnie mniej efektywny, system chłodzenia doprowadził do obniżenia sprawności wytwarzania energii o 3% (Tabela 1.2). Wynikiem tego jest zwiększenie zapotrzebowania na paliwo (zasoby naturalne) i zwiększenie emisji do atmosfery także o ok. 3%. Ponieważ emisje zależą także od typu zastosowanego paliwa, to, w zależności od konkretnej sytuacji, mogą się one znacznie różnić. Nie zgromadzono jednak na ten temat żadnych dalszych danych.

**Tabela 1.2: Średnia wartość emisji z elektrowni w Europie Zachodniej przy spadku sprawności o 3% [tm139, Eurovent, 1998]**

Emisja do powietrza	Emisja/energia doprowadzona [g/kWh]	Dodatkowa emisja spowodowana 3% spadkiem sprawności [g/kWh]
CO <sub>2</sub>	485	14,6
SO <sub>2</sub>	2,4	0,072
NO <sub>x</sub>	1,0	0,031

Pył	0,2	0,006
Podstawowa energia doprowadzona: 2,65 kW i dodatkowa energia doprowadzona 0,08 kW		

W następnych przypadkach, przedstawionych u Caudrona [tm056, Caudron, 1991], dobrze zilustrowano, jak wybór systemu chłodzenia oddziałuje na sprawność. Liczby ilustrują efekty wyboru systemu chłodzenia w zależności od danych warunków klimatycznych. Należy wziąć pod uwagę warunki klimatyczne i właściwe zaprojektowanie turbiny, gdyż strata sprawności może być uzależniona od wyboru danego systemu chłodzenia. Ciśnienie (podciśnienie) w skraplaczu będzie się różniło, jak podano w kolejnych tabelach. Tam gdzie występuje wyższa temperatura otoczenia, w przypadku systemów suchych wyższe jest podciśnienie, które może wynosić do 425 mbar. Jednakże do podobnych strat sprawności mogą prowadzić też inne czynniki, tj. osady, zamulenie, korozja i nieoptymalne projektowanie.

**Tabela 1.3: Względny efekt dostarczania energii elektrycznej ze względu na zastosowanie wież chłodniczych, mokrych, mokrych/suchych i suchych do jednostek 1300 MW<sub>e</sub>**  
[tm056, Caudron, 1991]

System chłodzenia			Mokre wieże chłodnicze		Mokre/ suche wieże chłodn.	Suche wieże chłodnicze	
	Jedn. przepł.	Mokre grawit.	grawit.	przepł. wymusz.	przep. wymusz.	grawit.	przep. wymusz.
Temp. spiętrzenia K (suche powietrze 11 [°C] / mokre powietrze 9 [°C])	-	12	12,5	12,5	13,5	16	17
<b>Nominalne ciśnienie kondensacji (mbar)</b>	<b>44</b>	<b>68</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>66</b>	<b>82</b>	<b>80</b>
Moc cieplna (MW <sub>th</sub> )	1810	1823	2458	-	-	-	-
Dostarczona moc elektryczna (MWe)	955	937	1285	1275	1275	1260	1240
<b>Różnica w dostarczanej energii elektrycznej (%)</b>	<b>+ 1,9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>- 0,8</b>	<b>- 0,8</b>	<b>- 2</b>	<b>- 3,5</b>

W tabeli system z jednorazowym przepływem jest systemem odniesienia dla pozostałych układów. Temperatura spiętrzenia w systemach chłodzenia z recyrkulacją są dodatkowo w stosunku do temperatury spiętrzenia uzyskiwanej w wymienniku ciepła (skraplaczu) - przyjęto, że we wszystkich systemach jest ona taka sama.

Z tabeli jasno wynika, że wybór systemu chłodzenia, np. zamiast systemu suchego – system mokry, wymaga dokładnej analizy. Tabela pokazuje także, dlaczego wiele elektrowni jest ulokowanych na wybrzeżach lub nad brzegami rzek. Z punktu widzenia produkcji, systemy z jednorazowym przepływem mają większą sprawność od systemów mokrych z grawitacyjnym przepływem powietrza.

W obiegach łączonych ciśnienie w skraplaczu i dostarczona moc elektryczna w podobny sposób zależą od typu systemu chłodzenia, z czego jasno wynika relatywna strata energii.

**Tabela 1.4: Wpływ wyboru systemu chłodzenia (mokre, mokre/suche lub suche wieże chłodnicze dla bloku elektrociepłowni o mocy grzewczej 290 MW<sub>th</sub>)**  
[EDF, pers. comm., 1999]

Typ systemu chłodzenia	Mokra wieża chłodnicza			Skrapłacz chłodzony powietrzem
	jednorazowy przepływ	przepływ grawitacyjny	przepływ wymuszony	
Temp. spiętrz. K (suche pow. 11[°C]/pow. wilgotne 9[°C])	/	≈8	≈8	≈29
Nominalne ciśnienie skraplania (mbar)	34	44	44	74
Moc cieplna ( $MW_{th}$ )	290	290	290	290
Różnica w dostar. mocy elektrycznej ( $MW_e$ )	+ 0,65	0	-1,05	-5,65

### 1.2.2 Zastosowania niewrażliwe na temperaturę

Inne zastosowania są mniej wrażliwe na temperaturę. Sprawność tych procesów jest w mniejszym stopniu związana z temperaturą i ciśnieniem.. Dla takich procesów powinno się poszukiwać najbardziej ekonomicznych i ekologicznych układów chłodzenia o odpowiedniej wydajności niezbędnej do odprowadzenia ciepła odpadowego, które pozostanie po wykorzystaniu wszystkich możliwości odzysku.

## 1.3 Optymalizacja procesu podstawowego i regeneracja ciepła

Szczegółowa optymalizacja sprawności energetycznej całego procesu podstawowego nie jest przedmiotem poniższego dokumentu. Jednakże według przewencyjnego „podejścia” IPPC optymalizacja taka powinna zostać przeprowadzona zanim przejdzie się do kwestii usuwania ciepła odpadowego. Innymi słowy, zapotrzebowanie na usuwanie ciepła odpadowego musi być minimalizowane, co będzie wpływało na konfigurację i wielkość wymaganego systemu chłodzenia. Co więcej, zastosowanie systemu chłodzenia nie oznacza koniecznie usuwania ciepła do otoczenia, gdyż z powodzeniem udaje się już ponownie wykorzystywać ciepło odpadowe.

### 1.3.1 Optymalizacja procesu podstawowego

Optymalizacja procesu podstawowego może w sposób znaczący zredukować całościowy wpływ na środowisko rozpatrywanego systemu. W wielu Państwach Członkowskich istnieje problem wykorzystania ciepła powstającego przy produkcji energii elektrycznej. Zależnie od sprawności ogólnej, do 60% energii dostarczanej w paliwie jest zamieniane na ciepło odpadowe. Jeśli wzrasta sprawność produkcji energii, zredukowany jest szkodliwy wpływ na środowisko, w czym bardzo dużą rolę odgrywa system chłodzenia. Ta sama zasada ma zastosowanie w innych sektorach przemysłu. W ten sposób obniża się koszty energii, ilość ciepła odprowadzanego do otoczenia oraz emisję substancji szkodliwych do atmosfery ( $CO_2$ ). Ogólnie, im wyższy poziom temperatury dla ciepła odpadowego, tym łatwiej może ono być ponownie wykorzystane.

Oto kilka przykładów obecnie stosowanych technik:

- podgrzewanie paliwa lub surowców (metale);
- technologia „pinch-point” (projektowanie zintegrowanych cieplnie systemów technologii chemicznych);
- zastosowania zewnętrzne (np. ogrzewanie szklarni/osiedli mieszkaniowych);
- gospodarka skojarzona w przemyśle energetycznym.

Zamiast użytkowania wody chłodzącej lub powietrza, zwyczajowo w rafineriach podgrzewa się wstępnie paliwo tak, że gorący rafinowany strumień opuszczający jednostkę podgrzewa zimny strumień węglowodorów. Co za tym idzie, zredukowane zostaje zapotrzebowanie na wstępne podgrzewanie paliwa, a przez to obniża się zapotrzebowanie na wodę chłodzącą usuwającą ciepło odpadowe. Zależnie od procesu można zredukować ilość strumieni chłodzących, co ogranicza zapotrzebowanie na wodę chłodzącą i powietrze.

Gospodarka skojarzona albo jednoczesna produkcja ciepła i energii elektrycznej ma miejsce w przemyśle energetycznym i w innych sektorach (np. papierniczym, (petro-) chemicznym). Tam gdzie potrzebne są obie formy energii, są one produkowane jednocześnie. Prowadzi to do oszczędności energii, redukuje emisję CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub>, wymaga mniejszego chłodzenia, przez co zmniejsza wielkość stosowanych systemów chłodzenia.

### 1.3.2 Wykorzystanie ciepła odpadowego poza zakładem

Jeśli optymalizacja procesu produkcji ciepła odpadowego nie prowadzi do obniżenia ilości ciepła odpadowego, należałoby oszacować i określić BAT oraz możliwość ponownego wykorzystania ciepła odpadowego. Problematyka ta wykracza jednakże poza zakres zainteresowania IPPC, a odnosi się do dobrego zarządzania energią w aspekcie ochrony środowiska. Zagadnienie to rozwiązuje się na miejscu, w istniejącej instalacji lub stanowi ono czynnik decyzyjny przy wyborze lokalizacji (patrz rozdział następny). Znalezienie właściwych konsumentów nie jest zadaniem prostym. Często wymagania konsumentów nie są zgodne z wymaganiami, jakie niesie ze sobą stosowana technologia chłodzenia. W niektórych przypadkach, konsumenci korzystający z ciepła odpadowego żądają ciepła na wyższym poziomie temperaturowym, niż jest to planowane w miejscu wytworzenia. Jeśli jest technicznie możliwe prowadzić proces podstawowy na wysokim poziomie temperaturowym, należy dokładnie przeanalizować bilans energetyczny. Często straty sprawności energetycznej procesu podstawowego przeważają nad zyskami, jakie przynosi sprzedaż ciepła odpadowego. Należy też poświęcić więcej uwagi tworzeniu sytuacji, w której można by kreować zapotrzebowanie na istniejący już poziom temperaturowy ciepła odpadowego.

Można wyróżnić wiele zastosowań zewnętrznego korzystania z ciepła odpadowego wytwarzanego w elektrowniach. Zastosowanie gospodarki skojarzonej lub elektrociepłowni pozwala wykorzystać wytwarzane ciepło do ogrzewania domów lub biur zimą albo ogrzewania szklarni. Zastosowania te mogą podnieść sprawność wykorzystania energii doprowadzonej w paliwie z 40% do ponad 70%, a przez to obniżyć zapotrzebowanie na moc chłodzenia. W raportowanych przykładach zastosowano hybrydową wieżę chłodniczą ze zmienną prędkością obrotową wentylatora, która pozwala dopasować wydajność chłodniczą do zmieniającego się zapotrzebowania na ciepło systemu centralnego ogrzewania.. Gdyby nie zastosowanie tego rozwiązania, to wieża pracowałaby „na sucho” (bez wody) na poziomie 10% swojej całkowitej wydajności do momentu, gdy temperatura powietrza nie spadłaby do 5°C. Dzieje się tak po prostu ze względu na to, że w tym punkcie osiąga się maksymalny zewnętrzny odbiór ciepła. Powstaje tu pytanie o granicę, do której potencjalne możliwości wykorzystania energii mogą wpływać na wybór systemu chłodzenia, szczególnie tam, gdzie



wymagana jest elastyczność pracy urządzenia. Obecnie nie ma znanych przykładów, które pokazują jak możliwość odbioru ciepła odpadowego wpływa na wybór systemu chłodzenia.

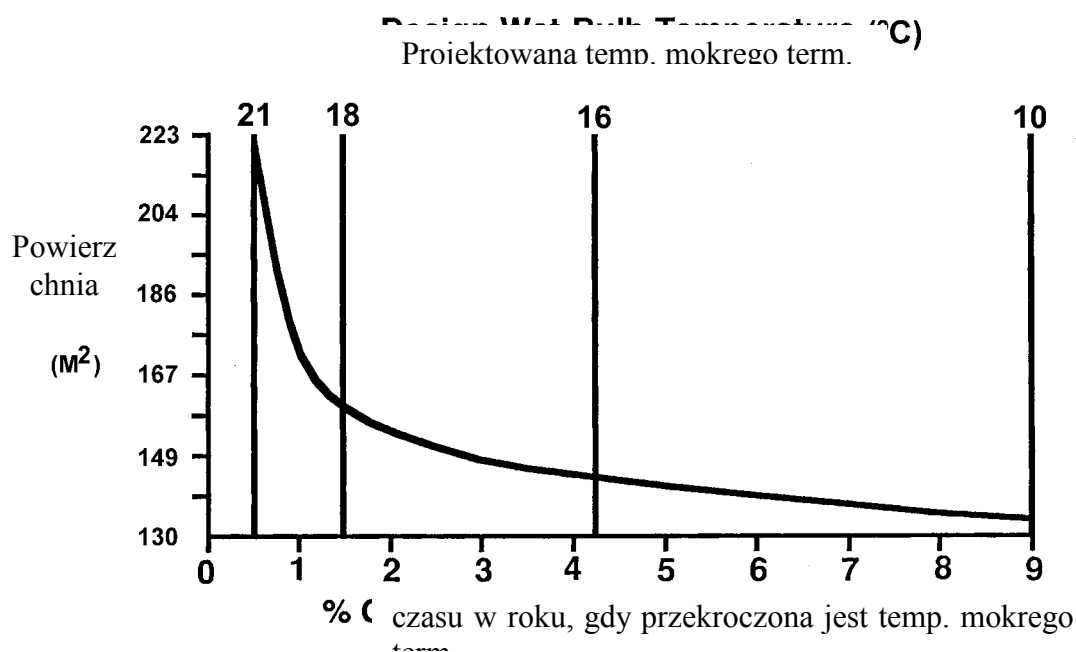
## 1.4 Wybór systemu chłodzenia spełniającego wymagania procesowe i lokalizacyjne

### 1.4.1 Wymagania procesowe

Po oszacowaniu poziomu temperaturowego ciepła odpadowego (wysoki, średni, niski) należy przeprowadzić pierwszą roboczą selekcję układów podanych w Tabeli 1.1. Oprócz poziomu temperaturowego przy wyborze systemu chłodzenia należy uwzględnić jeszcze wiele czynników spełniających wymagania procesowe i ogólnych wymagań związanych z miejscem instalacji systemu, takich jak:

- wymagana minimalna temperatura końcowa substancji schładzanej;
- wymagana wydajność chłodzenia;
- wymagania związane z obiegiem pośrednim, który zwiększa temperaturę spiętrzenia;
- warunki klimatyczne, dostępność wody i miejsca na instalację.

W świetle efektów pośrednich zbliżonego do optymalnego procesu chłodzenia, kluczowa jest wymagana minimalna końcowa temperatura medium schładzanego. Oznacza to, że istniejący system chłodzenia, lub system chłodzenia, który zostanie wybrany, będzie musiał osiągnąć tę końcową temperaturę, jednocześnie spełniając inne (związane z procesem) wymagania. Zaleca się optymalizację wydajności systemu chłodzenia z uwzględnieniem rocznych zmian temperatury czynnika chłodzącego. W przypadku chłodzenia mokrego, ważna jest temperatura mokrego termometru, która wpływa na wybór temperatury obliczeniowej, która z kolei oddziałuje na rozmiar systemu chłodzenia i zapotrzebowanie na energię elektryczną. Zmniejszanie wielkości systemów chłodzenia musi być starannie obliczane i akceptowane pojedynczo. Wiele zakładów przemysłowych musi pracować cały rok przy danych sprawnościach i maksymalnych efektach produkcyjnych. W przypadku stosowania wież chłodniczych z ciągiem wymuszonym lub chłodnic powietrznych można sterować pracą wybranego systemu w sposób ekonomiczny, jeśli składa się on z wielu jednakowych segmentów. Niektóre z nich, w celu oszczędności wody i energii elektrycznej, mogą być wyłączone z pracy, co nie powoduje obniżenia sprawności procesu.



**Rysunek 1.2: Planowana powierzchnia wymiany ciepła wieży w funkcji procentu czasu, gdy przekroczone jest projektowana temperatura mokrego termometru (temperatury zakładane 40/24/18°C), [tm083, Adams and Stevens]**

W odniesieniu do przemysłu energetycznego

Rysunek 1.2 nie ma zastosowania, dopóki nie zostanie przeprowadzona optymalizacja końca zimnego korzystając z określonych temperatur:

- dla mokrych lub suchych wieży brana jest pod uwagę temperatura powietrza wilgotnego (lub suchego), mierzona raz na 3 godziny;
- dla systemów z jednokrotnym schładzaniem wodą, temperatura jest mierzona raz na miesiąc.

Następnie, przy prowadzeniu optymalizacji bierze się pod uwagę waloryzację energii w ciągu całego roku. Metoda ta, zwana całkowitym bilansem rzeczywistym, wyjaśniona jest w załączniku XII.

Ogólnie, w wielu gałęziach przemysłu stosuje się pewien margines bezpieczeństwa, dzięki któremu system chłodzący będzie zapewniał cały czas odpowiednią wydajność chłodzenia, szczególnie w miesiącach letnich. W przypadkach, kiedy temperatura mokrego termometru cały czas utrzymuje się poniżej temperatury projektowanej, albo gdy niższe jest obciążenie mocą cieplną, może następować zjawisko nadmiernej wydajności wymiennika ciepła. W takim przypadku należy rozważyć kolejne parametry układu, takie jak np. zmienna wydajność wentylatorów, które pozwalają pracować systemowi poniżej właściwej wydajności i przez to zredukować bezpośrednie zapotrzebowanie na energię.

W wielu gałęziach przemysłu stosuje się przewymiarowanie systemu chłodzenia w momencie instalowania w celu stworzenia „zapasu” wydajności. Wolna wydajność jest stopniowo wykorzystywana do momentu pojawienia się zapotrzebowania na nową wieżę chłodniczą. Gdy rozważa się zwiększenie produkcji, a przez to mocy chłodzenia, należy dokonać szacunków dotyczących nadwyżek w istniejącym systemie chłodzenia, występujących albo na skutek mało wydajnej eksploatacji, albo niewłaściwej konserwacji.

Strategia ta umożliwi określenie wymaganej wydajności chłodzenia ( $kW_{th}$  lub  $MW_{th}$ ), wielkości systemu chłodzenia (wymienika ciepła) oraz wyboru czynnika chłodzącego (woda lub powietrze). Tam w Europie, gdzie istnieje zapotrzebowanie na duże wydajności chłodzenia przy niskich temperaturach medium procesowego (elektrownie i przemysł (petro-) chemiczny), preferowane są miejsca, gdzie dostępne są wielkie źródła wody oraz możliwe jest użytkowanie systemu chłodzenia z jednorazowym przepływem. Tam gdzie zasoby wody są ograniczone, stosuje się wieże chłodnicze mokre lub mokre/suche o dużych wydajnościach.

Potrzeba chłodzenia (potencjalnie) uciążliwych substancji może również wpływać na rozmiary systemu chłodzenia, jak też na temperaturę końcową medium chłodzonego (patrz np. zasady bezpieczeństwa Związku Przemysłu Chemicznego w Niemczech VCI w rozdziale 3 i załączniku VI). W tej sytuacji „podejście” BAT prowadzi do wniosku, że skutki przecieków mogą być odpowiednio łagodzone, jeśli zastosowany zostanie system pośredni. Oznacza to, że musi zostać zaprojektowany drugi bieg, przez co temperatura projektowa będzie rosła, wprowadzając wzrost temperatury spiętrzenia. Będzie to prowadziło do wyższych końcowych temperatur substancji schładzanych i wynikającej z tego redukcji sprawności ogólnej procesu.

### 1.4.2 Wybór miejsca

Oczywiste jest, że istnieje pewna granica, do której można optymalizować parametry charakterystyczne dla danego miejsca pracy systemu chłodzenia poprzez wybór najlepszego miejsca. Dla układów już istniejących miejsce to jest po prostu wartością daną, a optymalizacja odnośnie środowiska naturalnego powinna być rozpatrywana z uwzględnieniem ograniczeń wprowadzanych przez takie właśnie umiejscowienie systemu. Dla przykładu, przy ograniczonej ilości wody chłodzącej stosuje się zamiennie system chłodzenia suchym powietrzem, co wydaje się naturalnym wyborem. Jednakże na przeszkodzie takiemu rozwiązaniu mogą stanąć warunki klimatyczne, gdy temperatura suchego termometru może przekroczyć żądaną temperaturę projektową w trakcie dłuższych okresów w ciągu roku, chyba że możliwe jest zmniejszenie wydajności produkcji oraz związana z tym redukcja ogólnej sprawności zakładu produkcyjnego.

Jeśli natomiast położenie systemu jest jeszcze sprawą otwartą, wymagania systemu chłodzenia mogą być w znacznym stopniu ukształtowane. Dlatego ważne jest by podczas fazy projektowej brać pod uwagę wszystkie poniżej przedstawione aspekty wyboru miejsca:

- ilość, jakość i koszt dostępnego medium chłodzącego (powietrze lub woda),
- możliwe rozmiary (powierzchnia, wysokość, masa urządzeń chłodzących),
- wpływ na jakość wody i jej faunę i florę,
- wpływ na jakość powietrza,
- skutki meteorologiczne,
- zrzut substancji chemicznych do wody,
- emisja hałasu,
- aspekt estetyczny budowli,
- całkowity koszt systemów chłodzenia, pomp, armatury i instalacji uzdatniania wody,
- roczne koszty konserwacji i napraw,
- parametry pracy takie jak: minimalny czas pomiędzy przeglądami, czas pracy w ciągu roku, średnia wartość temperatury medium na wyjściu i temperatura strumienia wody,
- wymagania dotyczące pracy takie jak: wymagana temperatura spiętrzenia i dostępność wybranych systemów,

- wymagania prawne d/t ochrony środowiska w zakresie emisji strumienia ciepła, emisji oparów, dźwięku, etc.
- dla elektrowni: spadki sprawności elektrowni, całkowity koszt spadków produkowanej energii elektrycznej, czas życia elektrowni i spadek dochodów wynikających z obniżenia sprawności elektrowni.

## Przestrzeń

Różne systemy chłodzenia potrzebują określonej przestrzeni przy tych samych wydajnościach chłodzenia, a różnią się wymaganiami co do powierzchni, wysokości i masy instalacji. Zależą one od sposobu działania i wymiany ciepła (patrz załącznik I).

W przypadku dużych systemów problemem mogą być ograniczenia dotyczące przestrzeni i mogą stanowić one przedmiot rozważań przy wyborze miejsca pracy danego systemu. Odnosi się to do procesów, w których występuje chłodzenie powietrzne i gdzie stosuje się duże wielosegmentowe konstrukcje w celu zapewnienia odpowiedniej wydajności chłodzenia. W przypadku mniejszych wydajności ograniczenia przestrzeni nie istnieją i nie jest to czynnik decydujący, gdyż na rynku istnieją konstrukcje dachowe specjalnie zaprojektowane dla takich przypadków.

Ważnym czynnikiem przy wyborze systemów chłodzenia mogą być ograniczenia przestrzenne, dla przykładu w rejonach o gęstej zabudowie, zurbanizowanych lub przemysłowych,. Np. wieża chłodnicza na dachu budynku nie potrzebuje dodatkowego gruntu, ale wytrzymałość konstrukcji dachowej może wprowadzać ograniczenia co do masy instalacji.

Wymagania dotyczące przestrzeni i wysokości są ważnymi kryteriami w przypadku układów hybrydowych i chłodzonych powietrzem. Przepływ powietrza może być realizowany przy pomocy ruchu grawitacyjnego powietrza lub dzięki wentylatorom (przepływ wymuszony mechanicznie). Przy tej samej wydajności chłodzenia systemy z przepływem grawitacyjnym powietrza są o wiele większe i wyższe od systemów z przepływem wymuszonym mechanicznie.

## Ocena miejsca

W wielu Państwach Członkowskich przy rozpatrywaniu wyboru miejsca określa się wpływ umiejscowienia systemu chłodzenia na środowisko naturalne, co jest wymagane przy wydawaniu pozwolenia na budowę systemu. Ponadto, wobec potencjalnie dużego wpływu wyboru miejsca na wydajność chłodzenia, podjęte zostały inicjatywy w celu wstępnego określenia optymalnych miejsc dla takich systemów w regionalnych planach zagospodarowania terenu.

Przykładem oceny umiejscowienia systemu chłodzenia z dużym zapotrzebowaniem na wodę chłodzącą, czyli takiego jak w elektrowni, jest Tabela 1.5 Kombinacja warunków lokalnych pozwala na sklasyfikowanie miejsca pod względem jego przydatności w jednej z trzech grup: najbardziej, średnio i najmniej korzystnej. Należy zauważyć, że dokonywanie takiej klasyfikacji jest również jedynie częścią całkowitej oceny i dlatego miejsce sklasyfikowane w rubryce „stopień 3” (wątpliwa przydatność) może okazać się korzystne, po uwzględnieniu całości czynników.

Można przyrzeć się przykładowym konsekwencjom wyboru lokalizacji, tam gdzie „podejście” BAT zastosowano dla miejsca sklasyfikowanego w 3 kategorii.

**Tabela 1.5: Kryteria wyboru miejsca dla układu chłodzenia o dużych wymaganiach  
(Zaczerpnięte z [tm012, UBA, 1982])**

Kryteria	Stopień 1 (dobra przydatność)	Stopień 2 (satisfakcjonująca przydatność)	Stopień 3 (wątpliwa przydatność)	Objaśnienia
Odpowiednia dostawa wody chłodzącej	$W$ $NNQ > \frac{W}{\zeta c \Delta T}$ <p>Obfite zasoby wody chłodzącej</p>	$W$ $NNQ \approx \frac{W}{\zeta c \Delta T}$ <p>Wystarczające zasoby wody chłodzącej</p>	$W$ $NNQ < \frac{W}{\zeta c \Delta T}$ <p>Niewystarczająca ilość wody chłodzącej bez jej doprowadzania z zewnątrz</p>	<p>NNQ: najniższy znany wydatek objętościowy wód powierzchniowych</p> <p>W: strumień ciepła przekazywanego do wody</p> <p><math>\zeta</math>: gęstość wody</p> <p>c: ciepło właściwe wody</p> <p><math>\Delta T</math>: dozwolony przyrost temperatury wód powierzchniowych</p>
Właściwa jakość wody	Klasa jakości wody II umiarkowanie zanieczyszczona II/III znacznie zanieczyszczona	Klasa jakości wody III bardzo skażona	Niezależny od klasy czystości wody	(Niemiecka klasyfikacja jakości wody) I niezanieczyszczona II średnio zanieczyszczona II/III znacznie zanieczyszczona III-IV bardzo skażona IV nadmiernie skażona
Dostosowanie do dozwolonych strat odparowania	$V < A a$ Niewielkie straty przy parowaniu	$V \approx A a$ Znośne straty przy parowaniu	$V > A a$ Nie akceptowana strata z odparowania bez rozwiązań technicznych	V: straty z odparowania w wybranym miejscu (wydatek objętościowy) A: dozwolone w danym miejscu odparowanie a: ułamek A, który może być ograniczony przez inne źródła ciepła odpadowego

Wpływ na dostawę wody pitnej	Woda chłodząca z systemu chłodzenia nie ma wpływu na dostarczaną wodę pitną	Woda chłodząca z systemu chłodzenia może przy pewnych warunkach oddziaływać na zasoby wody pitnej; można uniknąć negatywnych skutków	Wpływ wody chłodzącej na dostawę wody pitnej; negatywne efekty nie mogą zostać usunięte bez pomocy technicznej.	To kryterium musi być rozważone, jeśli w okolicy jest rzeka i czerpana jest z niej woda pitna (obecnie lub jest to planowane w przyszłości)
Częstotliwość tworzenia się chmur oparów na niskiej wysokości i odpadowa wymiana ciepła w bezpośredniej bliskości (promień 2 km)	Bardzo niska częstotliwość (<2% p.a. średnio) długie (<100 m) opary na niskiej wysokości (≤300m) i wymiana ciepła odpadowego < 10 000 MW	Długie opary na niskiej wysokości dużo częściej i transport ciepła odpadowego < 10 000 MW	Transport ciepła odpadowego > 10 000 MW	
Sytuacja topograficzna w bliskości miejsca	Brak albo nieliczne wzniesienia wyższe niż wieża chłodnicza w promieniu 20 km od miejsca instalacji	Wzniesienia kilkakrotnie przewyższające wysokość wieży chłodniczej w promieniu ok. 2 - 20 km	Wzniesienia kilkakrotnie przewyższające wysokość wieży chłodniczej w promieniu mniejszym niż 2 km	
Możliwość ekonomicznego użytkowania ciepła odpadowego.	Duży potencjał do opłacalnego wykorzystania w ogrzewaniu w danej dzielnicy	Mały potencjał opłacalnego wykorzystania w ogrzewaniu w danej dzielnicy	Brak możliwości opłacalnego wykorzystania ciepła odpadowego lub możliwość wątpliwa, ze względu na niewystarczające analizy.	Możliwość opłacalnego wykorzystania ciepła odpadowego zwiększa atrakcyjność miejsca i może przeważać nad innymi niedogodnościami oraz obniżyć ilość ciepła usuwanego do otoczenia.



Szacunki powinno się zacząć od wyboru możliwości wykorzystania ciepła odpadowego, gdyż może to wpłynąć na zapotrzebowanie na wodę chłodzącą. Kryterium to nie może zostać spełnione, jeśli nie jest możliwe użycie ciepła na zewnątrz i całe ciepło dostaje się do otoczenia. Ilość dostępnej wody i dozwolone odparowanie są ograniczone, a opary mogą niekorzystnie wpływać na najbliższe sąsiedztwo miejsca pracy. Jeśli, ze względu na warunki procesowe, niezbędny jest wodny system chłodzenia, należy zastosować, zamiast systemu chłodzenia z jednorazowym przepływem, metody oszczędzania wody, np. system z recyrkulacją (np. otwarta mokra wieża chłodnicza). Będzie to wymagało zastosowania jakiegoś rodzaju uzdatniania wody, w zależności od jej jakości i ilości wykonywanych cyrkulacji. Dodatkowym wymaganiem jest ograniczenie emisji oparów, co wskazuje na zastosowanie systemu hybrydowego.

Jeśli jest wystarczająco dużo miejsca, a warunki klimatyczne są sprzyjające, można również wziąć pod uwagę systemy chłodzone powietrzem. „Podejście” całościowe będzie się wiązało z porównaniem użytkowania energii i kosztów. Proces wyboru miejsca wymaga, by w przypadku „ostatecznego kandydata” na miejsce szczegółowo rozważyć możliwe systemy chłodzenia, w celu znalezienia optymalnego rozwiązania.

### 1.4.3 Warunki klimatyczne

Klimat, wyrażony przy pomocy temperatury suchego i mokrego termometru, jest bardzo ważnym aspektem warunków panujących w danym miejscu. Wpływa on zarówno na wybór typu chłodzenia, jak i na możliwą do uzyskania końcową temperaturę czynnika chłodzonego. Sprzeczność chłodzenia powietrzem i/lub wodą polega na tym, że, gdy zapotrzebowanie na wydajność chłodzenia jest wysokie, trudniej jest osiągnąć wymagane poziomy. Szczególnie na obszarach, gdzie wysokie temperatury powietrza i wody występują w powiązaniu z niską dostępnością wody w ciągu danej pory roku, bardzo ważna jest elastyczność pracy systemu chłodzenia, która może być osiągnięta przez połączenie układu wodnego i powietrznego. Czasem może się to jednak wiązać ze stratą w wydajności.

W celu osiągnięcia pożądanej temperatury procesu od systemu chłodzenia wymaga się, by medium chłodzące miało temperaturę niższą od medium schładzanego, a to z kolei zależy od temperatury suchego i mokrego termometru. W przypadku systemów chłodzonych wodą i powietrzem sezonowe wahania temperatury medium chłodzącego mogą ograniczyć wybór systemu chłodzenia i wymagać pewnego specjalnego trybu pracy.

Temperatura mokrego termometru jest zawsze niższa od temperatury suchego termometru (Tabela 1.6). Temperatura mokrego termometru zależy od mierzonej temperatury powietrza, wilgotności i ciśnienia. W przypadku utajonej (przez odparowanie) wymiany ciepła temperaturą odniesienia jest temperatura mokrego termometru. Jest to teoretycznie najniższa temperatura, do której można schłodzić wodę przez odparowanie. Dla jawnej wymiany ciepła temperaturą odniesienia jest temperatura suchego termometru (suchego powietrza), przy czym chłodzikiem jest powietrze.

Przy wyborze typu i projektu systemu chłodzenia ważna jest temperatura projektowana. Zazwyczaj odnosi się to do letnich poziomów temperatury suchego i mokrego termometru. Im wyższa różnica pomiędzy tymi temperaturami i im wyższa temperatura suchego termometru, tym trudniej w przypadku systemów chłodzonych suchym powietrzem osiągnąć niską temperaturę końcową. Jak wspomniano wcześniej, może to prowadzić do spadków sprawności. Istnieją sposoby na uniknięcie tych spadków, lecz wymagają one inwestycji. Z

powodów ekonomicznych korzystnie jest określić zmienność temperatury w ciągu roku i procent czasu w ciągu roku, w trakcie którego osiągane są temperatury maksymalne.

Dla przykładu Tabela 1.6 pokazuje, jak wybór pomiędzy suchym a mokrym systemem chłodzenia może wpływać na spadki sprawności obiegu Carnota dla różnych warunków klimatycznych w Europie. W przykładzie rozważa się temperaturę spiętrzenia dla układu mokrego równą 4K i dodaje się ją do minimalnej końcowej temperatury chłodziwa. W przypadku układu suchego temperatura spiętrzenia wynosi 12 K i dodaje się ją do temperatury suchego termometru. Im większa różnica temperatur pomiędzy temperaturą końcową uzyskiwaną w systemach mokrych i suchych, tym wyższy spadek (w tym przykładzie), przy czym średnio obserwuje się stratę rzędu 0,35% na K. Jednocześnie, przy np. 5% spadku sprawności, sprawność konwencjonalnej elektrowni będzie, zamiast 40%, wynosić 38,6% (patrz załącznik XII.6).

**Tabela 1.6: Warunki klimatyczne w Europie**  
(zaczepnięte z [tm139, Eurovent, 1998])

Państwo i stacja							
	Temp. suchego term. (1%) <sup>2</sup> (°C)	Temp. mokrego term (1%) <sup>2</sup> (°C)	Różnica temperatur K	Temp. końc. ukl. suchego (°C)	Temp. końc. ukl. suchego <sup>4</sup> (°C)	ΔT suchy-mokry (K)	Strata sprawności <sup>5</sup> (%)
Grecja Ateny	36	22	14	48	26	22	7,7
Hiszpania Madryt	34	22	12	46	26	20	7,0
Francja Paryż	32	21	11	44	25	19	6,7
Włochy Rzym	34	23	11	46	27	19	6,7
Austria Wiedeń	31	22	9	43	26	17	6,0
Niemcy Berlin	29	20	9	41	24	17	6,0
Holandia Amsterdam	26	18	8	38	22	16	5,6
Francja Nicea	31	23	8	43	27	16	5,6
Zjednoczone Królestwo WB i IP Londyn	28	20	8	40	24	16	5,6
Niemcy Hamburg	27	20	7	39	24	15	5,3
Norwegia Oslo	26	19	7	38	23	15	5,3
Belgia Bruksela	28	21	7	40	25	15	5,3
Hiszpania Barcelona	31	24	7	43	28	15	5,3
Finlandia Helsinki	25	19	6	37	23	14	4,9
Dania Kopenhaga	26	20	6	38	24	14	4,9
Portugalia	32	27	5	44	31	13	4,6

Lizbona							
Zjednoczone Królestwo WB i IP Glasgow	23	18	5	35	22	13	4,6
Irlandia Dublin	23	18	5	35	22	13	4,6
Uwagi: 1) Dane zestawione w tabeli 1.4 ilustrują różnice klimatyczne w Europie. Inne źródła mogą podawać nieco inne dane. Dane konkretnie dla danego miejsca mogą być analizowane przez instytucje meteorologiczne. 2) Statystycznie tylko 1% temperatur przekracza podane wartości 3) Temperatura spiętrzenia: 12 K 4) Temperatura spiętrzenia układu mokrego: 4 K 5) Średnio strata sprawności 0,35% na $\Delta T$ K							

#### 1.4.4 Modelowanie matematyczne, symulacje modelowe, testy na obiegach pilotowych

Szczególnie w przypadku wrażliwych ekosystemów do oszacowania wpływu nowych i istniejących dużych systemów chłodzenia oraz do optymalizacji ich pracy stosowane są modele matematyczne. Przeprowadzane mogą być symulacje i testy obiegów pilotowych, przewidujących termiczne zmiany wody powierzchniowej w bliskim i dalekim sąsiedztwie systemu spowodowane emisją ciepła odpadowego, jak również optymalizacją systemu uzdatniającego wodę.

Celem modelowania jest badanie każdego fizyko-chemicznego oddziaływania i zastosowanie wyników tego modelowania w instalacji, w celu maksymalnego zredukowania skutków działania systemu chłodzącego. Najważniejsze badane elementy to:

- przepływ wody i odprowadzenie do otoczenia ciepła odpadowego,
- aspekty krajobrazowe miejsca pracy układu,
- rozprzestrzenianie się oparów,
- termiczny i chemiczny wpływ na otaczające środowisko naturalne.

Celem testów pilotowych jest zdefiniowanie optymalnego sposobu uzdatniania wody zarówno przez wzgląd na osady, jak też na wszelkie zmiany biologiczne. W tym celu na okres jednego roku instalowane jest urządzenie pilotowe posiadające rzeczywiste parametry pracy takie jak instalacja właściwa. Pomaga to wziąć pod uwagę zmiany jakości wody w ciągu roku i wypróbować różne przypadki i scenariusze w skali rzeczywistej (np. wybór wypełnienia w wieżach chłodniczych, wybór materiałów).

#### 1.5 Wybór technologii chłodzenia pod względem wymagań stawianych przez ochronę środowiska

Wymagania ochrony środowiska wpływają na stosowane systemy chłodzenia i są dodatkowym krokiem w trakcie wyboru nowego systemu chłodzenia lub optymalizacji już istniejącego. Ogólnie rzecz biorąc, należy wziąć pod uwagę 5 głównych czynników wpływających na wybór układu chłodzenia:

- minimalizacja zużycia energii
- minimalizacja emisji ciepła odpadowego

- minimalizacja emisji oparów
- minimalizacja emisji ścieków
- minimalizacja emisji hałasu
- minimalizacja emisji do gruntu i lądowych habitatów

Aspekty te wzajemnie się przenikają, a każdy potencjalnie wybrany ma wpływ na pozostałe. Celem jest zabezpieczenie się przed szkodliwymi emisjami do środowiska przy standardowej pracy urządzenia. Na tym etapie oceny należy jasno określić różnice pomiędzy chłodzeniem wodą, powietrzem lub wodą/powietrzem, jak też skutki dla środowiska ze względu na wybór danego projektu lub konkretnego materiału.

### 1.5.1 Ogólne porównanie układów chłodzonych powietrzem i wodą

Minimalizacja wpływu na środowisko przekłada się często na porównanie systemów chłodzonych wodą i powietrzem. We wcześniejszej części dokumentu stwierdzono, że ocena wyboru systemu powietrznego lub wodnego nie powinna być z góry narzucana, gdyż nie bierze ona pod uwagę uwarunkowań lokalnych, które mogą ograniczać użytkowanie jednego z tych systemów. Jednakże, stosowne może okazać się rozważenie lub dokonanie rewizji wielkości zapotrzebowania na wodę w świetle programów ochrony wód i rosnących wymagań względem wód dobrej jakości dla celów innych (cywilnych i przemysłowych) niż chłodzenie.

Z punktu widzenia opłacalności procesu, punkty krytyczne w wyborze pomiędzy systemami chłodzonymi powietrzem lub wodą nie są ustalone i w literaturze przyjmuje się zakres od 50°C do 65°C (jako temperatura końcowa) w zależności od lokalnych warunków klimatycznych.

Porównując cechy mokrego i suchego chłodzenia przy tej samej wydajności chłodzenia sformułowano kilka ogólnych uwag:

#### Wymogi przestrzenne:

- Chłodzenie powietrzem wymaga przestrzeni z powodu niskiej pojemności cieplnej powietrza. Zajmowana przestrzeń może być zmniejszona przez instalowanie chłodnic powietrznych na dachach i stosowanie rur kładzionych na pewnej wysokości od poziomu gruntu;
- Systemy chłodzone powietrzem mają ograniczenia dotyczące lokalizacji, gdyż nie mogą być umieszczane blisko budynków ze względu na zakłócenia prądów powietrznych, blokowanie dopływu powietrza i niebezpieczeństwo recyrkulacji;

#### Koszty konserwacji

- Ogólne koszty konserwacji układów chłodzonych powietrzem są niższe, gdyż nie wymagają oczyszczania z osadów i czyszczenia mechanicznego powierzchni zanurzonych w wodzie, nie wymagają też dodatkowej powierzchni na zrekompensowanie strat związanych z zanieczyszczeniem od strony wody;

#### Sterowanie procesem

- Kontrola temperatury powietrza jest łatwiejsza w przypadku chłodzenia powietrznego albo przy chłodzeniu z recyrkulacją niż w przypadku systemu z jednorazowym przepływem, gdzie bilans wody wlotowej i wylotowej ogranicza kontrolę nad przepływem wody i wzrostem jej temperatury. Przy chłodzeniu z wymuszeniem

mechanicznym oraz w systemach wyparnych nie ma wartości granicznych wykorzystywania powietrza, a jego przepływ może być regulowany przy pomocy załączania i wyłączania wentylatorów albo instalacji z wieloma wentylatorami lub przy pomocy sterownika wydajności;

- W przypadku chłodzenia wodnego łatwiejsze jest wykrycie przecieków, choć stwierdzenie przecieku w skraplaczu jest już trudniejsze. Zazwyczaj wpływa to na sprawność procesu.

### 1.5.2 Czynniki projektowe i wybór materiałów

Zgodnie z „podejściem” BAT, ważnym etapem z punktu widzenia zapobiegania jest projekt systemu chłodzenia i wybór materiałów mających tworzyć daną instalację. Mogą one wpływać na działanie urządzenia pod względem zapotrzebowania na energię użytkową, kontrolowanych (uzdatnianie wody) i niekontrolowanych (przecieki) emisji do środowiska, emisji hałasu i rodzajów emisji ciepła (z wodą lub powietrzem). Ponadto, określony projekt i wybrane materiały będą wymagały pewnych inwestycji. Ponownie, należy dążyć do równowagi pomiędzy poziomem zapobiegania emisjom na drodze projektowej a użytkowymi materiałami i związanymi z tym kosztami inwestycyjnymi. Jest to złożony problem uzależniony w dużej mierze od miejsca instalacji; następujące czynniki są brane pod uwagę:

- sposób działania (np. z jednorazowym przepływem lub z recyrkulacją)
- projekt chłodnicy i rodzaj systemu chłodzenia (bezpośredni/pośredni)
- poziom ciśnienia (skraplacz)
- skład chemiczny i korozyjność wody chłodzącej
- skład chemiczny i korozyjność medium schładzanego
- wymagana trwałość i koszty

Materiały dostępne, ułożone w porządku o rosnącej wytrzymałości, i najczęściej używane to stal węglowa, stal powlekana (galwanizowana), aluminium/mosiądz, miedź/nikiel, odpowiednie rodzaje stali nierdzewnej i tytanu. Materiały te można dalej podzielić w zależności od jakości. Szczególnie odporność na korozję, erozję mechaniczną i zanieczyszczenia biologiczne są silnie zdeterminowane przez jakość wody wraz z możliwymi dodatkami.

W załączniku IV podano względy wpływające na wybór materiałów do systemów z jednorazowym przepływem i z recyrkulacją. Dla każdego przemysłowego systemu chłodzenia można przeprowadzić podobne szacunki. W przypadku układów na wodę i wodę/powietrze materiał może być wybrany w zależności od dwóch mediów: chłodzącego i schładzanego, podczas gdy w pierwotnym zamkniętym obiegu chłodzenia suchego, ważniejsze jest medium schładzane.

Oczywiste jest, że różne części instalacji wykonuje się z różnych materiałów. Preferowane są materiały o najmniejszej wrażliwości na korozję pod wpływem wody lub na warunki procesowe. Konsekwencją wyboru materiałów (stopów) o większej wrażliwości jest potrzeba wprowadzenia kompleksowego procesu przygotowania (uzdatniania) wody, który wiąże się z emisjami i kosztami.

W zilustrowano efekty wywołane wyborem różnych systemów chłodzenia. Projektowane są trzy wieże dla tych samych wydajności chłodzenia i przy tych samych wymogach odnośnie

środowiska. Wybór układu chłodzenia oznacza różne rozmiary, ale w szczególności różnice w kosztach energii, tak jak w przypadku wieży z zamkniętym obiegiem chłodzenia, gdzie wymaga się 7 kW energii więcej, by przy tej samej wydajności posiadać tę samą emisję hałasu. W tym przypadku koszty eksploatacyjne mogą prowadzić do wyboru jednej z innych opcji. Podobne porównania dokonywane dla innych parametrów mogą wskazywać na wybór innej opcji.



**Tabela 1.7: Porównanie różnych systemów chłodzenia z wymaganym maksymalnym poziomem natężenia hałasu [tm139, Eurovent, 1998]**

	Wieża chłodnicza z przepływem grawitacyjnym	Wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	Wieża chłodnicza z hybrydowym obiegiem zamkniętym
<b>Klimat:</b>			
temp. suchego term.	26 °C		
temp. mokrego term.	18 °C		
<b>Dane:</b>			
Wydajność	1200 kW		
temperatura wlotowa	38 °C		
temperatura wylotowa	32 °C		
Przepływ	47,8 l/s		
poziom hałasu	90 dB(A)	90 dB(A)	90 dB(A)
<b>Dane charakterystyczne:</b>			
Długość	3,7 m	3,7 m	5,2 m
Szerokość	2,8 m	2,4 m	2,0 m
Wysokość	3,2 m	4,2 m	3,0 m
Moc wentylatora	5 kW	11 kW	5,0 kW
Moc zasilania pomp spryskiwacza	1 kW	2,2 kW	1,0 kW

### 1.5.3 Możliwości zmian technologicznych w istniejących układach

W nowych systemach chłodzenia możliwa jest większa elastyczność przy wyborze układów całościowych i opcji zastępczych, podczas gdy w instalacjach już istniejących zmiany technologii mają często radykalny charakter. Czasem, w szczególnych przypadkach, możliwa jest zmiana technologii, lecz w przypadku istniejących instalacji liczba możliwości redukcji emisji poprzez rozwiązania technologiczne jest ograniczona. Zgodnie z „podejściem” BAT najważniejsze jest zapobieganie emisjom. Ze względu na aspekty ekonomiczne zmiana technologii powinna być rozważona przed podjęciem dalszych szacunków dotyczących optymalizacji pracy systemu chłodzenia. W następnych części tekstu prezentowane są obserwacje i doświadczenia zebrane przez dostawców w celu przykładowego pokazania możliwych kroków optymalizacji w „podejściu” BAT (patrz załącznik XI).

#### 1.5.3.1 Modernizacja – powody i rozważania

Modernizacja (retrofit) instalacji istniejących może być spowodowana następującymi przyczynami:

1. zastąpieniem istniejącej technologii przez inną o niższych wymaganiach eksploatacyjnych,

2. zastąpieniem przestarzałego sprzętu przez nowocześniejsze urządzenia o wyższej sprawności i
3. modyfikacją istniejącego sprzętu w celu podniesienia wydajności lub spełnienia dodatkowych wymagań.

W przypadku modernizacji, inaczej niż przy wyborze nowej instalacji, gdzie miejsce powstawania i warunki mogą zostać w mniejszym lub większym stopniu zdefiniowane, zazwyczaj bierze się pod uwagę następujące stałe parametry:

- przestrzeń – nowa zmodernizowana instalacja musi być wpasowana w przestrzeń zajmowaną przez poprzednią instalację,
- dostępność zasobów – nowa instalacja nie powinna mieć większego zapotrzebowania na zasoby od instalacji starej, nowa infrastruktura może wpływać na wzrost kosztów i
- ograniczenia prawne – wpływ na środowisko, np. kryteria hałasu zazwyczaj powinny być na tym samym lub niższym poziomie w porównaniu z instalacją starą.

Przestrzeń jest często bardzo ważną przyczyną modernizacji. Jeśli fabryka lub budynek mają być budowane od nowa na istniejącym miejscu o ograniczonej przestrzeni, można rozważyć nowy typ instalacji chłodzenia, który może być umieszczony na dachu budynku, lub który potrzebuje mniej przestrzeni niż starsza instalacja.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem byłaby nowa instalacja o niższych wymogach eksploatacyjnych, tak by modernizacja również wiązała się z obniżeniem kosztów eksploatacyjnych. Jest to jeden z głównych powodów dla przeprowadzenia modernizacji. Preferuje się jednak taki wariant modernizacji, w którym redukcji ulegają emisje i zużycie zasobów. Ogólnie wymaga to wyższych nakładów inwestycyjnych. W przypadku oszczędności w kosztach eksploatacji i potencjalnych redukcjach emisji, większe koszty inwestycyjne mogą zwrócić się w krótkim czasie.

Wszystkie warianty modernizacyjne muszą dotyczyć zarówno przyjętej technologii chłodzenia, jak i procesu, w którym to chłodzenie ma być zastosowane. Oba te czynniki muszą być rozpatrywane jako całość, gdyż zmiany w układzie chłodzenia mogą mieć wpływ na proces i odwrotnie. Pierwszym celem modernizacji jest utrzymać lub, jeśli to możliwe, podwyższyć sprawność procesu, w którym stosuje się chłodzenie. Z drugiej strony zmiany w procesie z zastosowanym chłodzeniem będą również wpływały na wymagania stawiane układowi chłodzenia, co może stanowić następną ważną przyczynę przeprowadzenia modernizacji.

Zmiany w procesie z chłodzeniem mogą zmienić wymagania dotyczące systemu chłodzenia.

- Dzięki nowej technologii w procesie generowana jest mniejsza ilość ciepła odpadowego, zatem potrzebna jest mniejsza wydajność chłodzenia (przykład: terminale komputerowe, procesy z tarciami).
- Zmienia się poziom temperatur wymianianego ciepła odpadowego, zarówno w górę, jak i w dół (przykład: procesy spalania)
- Większa ilość wytwarzanego ciepła jest odzyskiwana tak, że do środowiska usuwana jest mniejsza ilość ciepła odpadowego.
- Wzrasta wrażliwość procesu na temperaturę i potrzebny jest bardziej sprawny system chłodzenia.

W tabeli 1.8 przedstawiono podsumowanie możliwości technologicznego unowocześnienia, które, zgodnie z informacjami od dostawców, mogą być uznane za technicznie proste (E), możliwe (P), trudne (D), nie możliwe (NP) lub nie stosowane (NA). Ogólnie każdy układ

posiada zróżnicowaną ilość wariantów modernizacyjnych. NP-E wskazuje, że stosowanie danej opcji w dużym stopniu zależy od warunków, w których dana instalacja pracuje. (patrz też rozdział 3 i załączniki).

**Tabela 1.8: Opcje unowocześnienia istniejących instalacji (pers. comm.)**

Opcja	Przemysłowe systemy chłodzenia <sup>1</sup>					
	OTCS	OWCT	OWDCT	CCWCT	CCDCT	CCWDCT
Ogólnie	E	E	E	E	E	E
Lepsza wydajność	E	E	D	D	D	D
Redukcja kW <sub>e</sub>	D	E	D	E	D	D
Redukcja zużycia wody	NA	NP-E	D	NP-E	NA	D
Redukcja oparów	NA	NP-E	NA	E	NA	NA
Redukcja hałasu	NA	E	D	E	D	E
Redukcja ucieczki wody	NA	E	E	E	NA	E

Uwagi:  
<sup>1</sup>Skrót nazwy systemu (patrz także rozdział 2):  
 OTCS – system chłodzenia z jednorazowym przepływem  
 OWCT – otwarte mokre chłodzenie kominowe  
 OWDCT – mokre/suche wieże chłodnicze  
 CCWCT – wieże z obiegiem zamkniętym  
 CCDCT – wieże suche z obiegiem zamkniętym  
 CCWDCT – wieże mokre z obiegiem zamkniętym

Istnieje wiele możliwych rodzajów modernizacji procesu chłodzenia; niektóre typowe warianty, wraz z istotnymi czynnikami, zostały omówione w następnym części tekstu.

### 1.5.3.2 Zmiana technologii wymiany ciepła

Głównymi powodami zmiany technologii wymiany ciepła są zazwyczaj niższe koszty eksploatacyjne lub ograniczenia prawne związane z nową technologią.

Typowym przykładem jest zastąpienie systemu z jednorazowym przepływem przez układ z recyrkulacją, które wprowadza oszczędności eksploatacyjne (woda i ścieki), a także spełnia wymagania dotyczące emisji ciepła odpadowego do wód powierzchniowych. Wynik ekonomiczny układu z recyrkulacją zależy od kosztów wody, ścieków i energii elektrycznej. Zakładając średni koszt wody i ścieków jako 1 [€/m<sup>3</sup>] i koszty energii elektrycznej jako 0,1 [€/kWh], koszty eksploatacyjne w tym przykładzie wynoszą 38800 € dla systemu z jednorazowym przepływem i 48000 € (2100 € za wodę a 27000 € za energię) dla systemu z recyrkulacją. Oszczędności roczne, wynoszące 34000 €, przekraczają nakłady inwestycyjne o wysokości 21000 €. Jeśli bilans stawia na pierwszym miejscu środowisko, a koszty inwestycyjne są znacznie większe niż roczne koszty eksploatacyjne, okres zwrotu inwestycji staje się ważnym czynnikiem.

W przykładzie tym ze zmiany technologii płyną korzyści jednocześnie dla środowiska – w związku z wymaganiami dotyczącymi wody - i dla przedsiębiorstwa. Pojawiają się jednakże koszty środowiskowe związane z zapotrzebowaniem na napęd dodatkowych wentylatorów i pomp. W przykładzie tym zużycie wody jest określone przez ubytki wody w wyniku odparowania, które obliczono zakładając, że wynoszą one 1,8% całej ilości w obiegu na schłodzenie o 10K (patrz załącznik V.3).

Przykład ten pokazuje jedynie, w jaki sposób należy podchodzić do zmian w technologii. Przy różnych poziomach cen dane końcowe mogą się różnić i dawać pierwszeństwo systemowi z jednorazowym przepływem. Dla przykładu, we Włoszech, gdzie cena energii elektrycznej wynosi około 0,05 [€/kWh] a cena wody dla obiegu otwartego to 0,01 [€/m<sup>3</sup>], wobec 0,1-0,2 [€/m<sup>3</sup>] dla obiegu zamkniętego, układ z jednorazowym przepływem wydaje się być korzystniejszy z ekonomicznego punktu widzenia.

**Tabela 1.9: Przykład zmiany systemu z jednorazowym przepływem na system z recyrkulacją [tm139, Eurovent, 1998]**

<b>Przykład: sprężarka powietrzna 500 kW</b>	<b>System z jedn. przejściem</b>	<b>System z recyrkulacją</b>
temperatura wlotowa	15 °C	27 °C
temperatura wylotowa	35 °C	35 °C
przepływ	6 l/s	15 l/s
praca w ciągu roku	1800 h	1800 h
straty przez odparowanie	-	1400 m <sup>3</sup> /a
zrzut	-	700 m <sup>3</sup> /a
roczne zużycie wody	38800 m <sup>3</sup> /a	2100 m <sup>3</sup> /a
moc dodatkowych pomp i wentylatorów	-	15kW
koszt inwestycji	-	€ 21000

Jeżeli rozważa się zmiany w układzie chłodzenia, należy wziąć pod uwagę wpływ tych zmian na całkowitą sprawność. Jeśli to możliwe, sprawność powinna wzrosnąć. W przypadku procesów wrażliwych na temperaturę istnieje potrzeba sprawdzenia, czy technologia może dostarczyć niższych temperatur końcowych przy tym samym poziomie bezpieczeństwa.

Przykład zastąpienia skraplacza chłodzonego wodą z otwartą wieżą chłodniczą przez skraplacz z odparowaniem pokazuje wpływ na końcową temperaturę i sprawność układu. Taka zmiana technologiczna może potencjalnie zmniejszyć temperaturę skraplania o 4-6 K w zależności od warunków rzeczywistych. Szacowany zysk sprawności uzyskany w wyniku takiej modernizacji może wynosić 12-15% zapotrzebowania na moc sprężarki chłodzącej [tm139, Eurovent, 1998].

W przypadku zastosowań wrażliwych na temperaturę w zakresie średnich temperatur, celowe może być wprowadzenie systemów hybrydowych, jeśli istnieje potrzeba zmniejszenia kosztów zużycia wody i/lub wody i ścieków. Generalnie taka zmiana nie niesie za sobą większego zapotrzebowania na moc elektryczną, a może znacznie zmniejszyć roczne zapotrzebowanie na zużycie wody. Zależnie od rzeczywistych warunków i wymagań kubaturowych systemy hybrydowe mogą wymagać dodatkowej przestrzeni.

### 1.5.3.3 Zastąpienie przestarzałej technologii wymiany ciepła technologią nowocześniejszą

Często z różnych przyczyn zmiana technologii chłodzenia nie jest właściwa. Jednakże, nawet modyfikacja istniejącej technologii może prowadzić do lepszej wydajności, lepszych wyników, mniejszych emisji i niższych kosztów eksploatacyjnych. Rozwój systemów z przepływającym powietrzem i powierzchniami wymiany ciepła, jak też zastosowanie bardziej trwałych materiałów konstrukcyjnych, są głównymi powodami, dla których stosuje się zmianę technologii.

Zwykle temperatury procesu nie zmieniają się (ta sama technologia), zatem główny nacisk w tym wariancie jest położony na redukcję zapotrzebowania na zasoby oraz wpływu na środowisko jak też na osiągnięcie większej trwałości sprzętu. Przedłużenie pracy urządzeń o 10 lat może być zrealizowane przez użycie nowych, bardziej trwałych materiałów. Jest bardzo prawdopodobne, że systemy instalowane 15 lub 20 lat temu, mogą być obecnie zastąpione przez nowocześniejszy sprzęt z większymi wydajnościami, lepszymi wynikami środowiskowymi i ekonomicznymi.

Typowym przykładem usprawnienia systemów chłodzenia z jednorazowym przepływem jest zastosowanie bardziej wydajnych i sprawnych płytowych wymienników ciepła. Na przykład w przypadku systemów chłodzenia z odparowaniem, główne kierunki rozwoju dotyczą usprawnienia wypełnienia wymiennika i układów przepływu powietrza, przez co osiąga się bardziej zwartą konstrukcję o większych sprawnościach i wydajnościach. W przypadku systemów z chłodzeniem powietrznym podobne rezultaty można osiągnąć dzięki nowej technologii kształtowania żeber wymiennika. Wpływ, jaki na zużycie energii może mieć stosowanie systemów o lepszej sprawności, ilustruje tabela 1.10. W tym przypadku koszty inwestycyjne muszą zostać zrównoważone rocznymi kosztami eksploatacji dotyczącymi zużycia energii i czyszczenia wypełnienia.

**Tabela 1.10: Przykład zmiany przestarzałej wieży chłodniczej z mechanicznym wymuszeniem przepływu powietrza na rozwiązanie nowsze [tm139, Eurovent, 1998]**

<b>Przykład: Wieża chłodnicza z wymuszeniem mechanicznym</b>	<b>Projekt przestarzały: wymuszenie mechaniczne z wypełnieniem o małej sprawności i ukl. wentyl.</b>	<b>Projekt nowoczesny: wymuszenie mechaniczne z wypełnieniem o dużej sprawności i ukl. wentyl.</b>
Wydajność	1200 kW	
Temperatura wlotowa	38 °C	
Temperatura wylotowa	28 °C	
Temp. mokrego termometru	21 °C	
Przepływ wody	28,7 l/s	
Moc wentylatorów	7,5 kW	4 kW
Zużycie energii przez wentylator	9 MWh/rok	4,8 MWh/rok
Koszty inwestycyjne	-	€ 14000

### 1.5.3.4 Unowocześnianie istniejących technologii wymiany ciepła

Często nie ma potrzeby wymiany całego systemu chłodzenia. Wydajność istniejących układów może również zostać podwyższona przez ich unowocześnienie. Główne części lub akcesoria w układzie są zastępowane lub naprawiane, przy czym system jako całość pozostaje na miejscu. Unowocześnienie może spowodować wzrost sprawności i zredukować wpływ na środowisko. Przykładami unowocześnienia są nowe i bardziej wydajne wypełnienia wież chłodniczych oraz stosowanie tłumienia hałasu.

Przypadki opisane w tabeli 1.11 mogą posłużyć jako uproszczone ilustracje. Dla kompleksowej oceny korzyści dla środowiska należy także rozważyć inne czynniki. Dla przykładu, przy wymianie wypełnienia wieży chłodniczej w kosztach środowiskowych należy uwzględnić koszty złomowania wymienionego wypełnienia.

**Tabela 1.11: Przykład zamiany przestarzałego wypełnienia w wieży chłodniczej z wymuszeniem mechanicznym na wypełnienie nowoczesne wysokosprawne [tm139, Eurovent, 1998]**

<b>Przykład: wieża chłodnicza z mechanicznym ciągiem zraszana wodą</b>	<b>Wypełnienie przestarzałe</b>	<b>Wypełnienie wysokowydajne</b>
Wydajność	3600 kW	
Temperatura wlotowa	38 °C	
Temperatura wylotowa	28 °C	
Temperatura mokrego termometru	21 °C	
Przepływ wody	86,1 l/s	
Powierzchnia	26 m <sup>2</sup>	
Zapotrzebowanie mocy na napęd wentylatora	22,5 kW	13,5 kW
Energia zużywana na napęd wentylatorów	81 MWh/rok	48,6 MWh/rok
Koszt inwestycji	-	€ 29000

W tabeli 1.12 pokazano, że wraz z osiąganą zauważalną redukcją poziomu hałasu, obserwuje się nie tylko efekty pozytywne. Okazuje się, że ochrona przed hałasem prowadzi zazwyczaj do spadku ciśnienia, który musi być skompensowany przez większą wydajność wentylatorów. To z kolei prowadzi do większego zapotrzebowania na zużycie energii całego systemu chłodzenia. Decyzja, czy ważniejsze jest zmniejszenie zapotrzebowania na energię czy też redukcja poziomu hałasu, musi zostać podjęta na poziomie lokalnym. Koszty inwestycyjne i konserwacyjne powinny zostać porównane ze zredukowanymi kosztami zapotrzebowania na energię

Innym przykładem zwiększania sprawności jest unowocześnienie strategii eksploatacji. Okresy załączania i wyłączenia wentylatorów mogą być kontrolowane automatycznie przy pomocy konwerterów częstotliwości. Może to prowadzić do znaczących oszczędności energii elektrycznej, które, zależnie od warunków, mogą osiągać 70% i więcej.

Koszty inwestycyjne na unowocześnianie mogą się znacznie różnić i zależą od rodzaju zmian i okresu działania instalacji istniejącej. Inwestycje towarzyszą niższe koszty eksploatacyjne jako wynik wyższej sprawności. Koszty inwestycyjne unowocześnienia będą ogólnie rzecz biorąc niższe niż te charakterystyczne dla zmian technologicznych lub wymiany całego wyposażenia.

**Tabela 1.12: Przykład usprawnienia charakterystyki akustycznej w wyniku zastosowania dodatkowej osłony przed hałasem [tm139, Eurovent, 1998]**



<b>Przykład: wieża chłodnicza z mechanicznym ciągiem zraszana wodą</b>	<b>Istniejąca wieża schładzana wodą</b>	<b>Usprawnienie przez dodatkową ochronę przed hałasem</b>
Wydajność		1200 kW
Temperatura wlotowa		38 °C
Temperatura wylotowa		28 °C
Temperatura mokrego termometru		21 °C
Przepływ wody		28,7 l/s
Zapotrzebowanie mocy na napęd wentylatora	15 kW	18kW
<b>Poziom dźwięku</b>	90 dB(A)	81 dB(A)
Koszty inwestycyjne	-	€ 12000

## 1.6 Względy ekonomiczne

Nakłady finansowe są zawsze jednym z najważniejszych czynników wpływających na wybór systemu chłodzenia i mogą być szacowane tylko na poziomie indywidualnego projektu. Wyróżnia się trzy najważniejsze rodzaje kosztów:

- koszty inwestycyjne,
- koszty konserwacji,
- koszty eksploatacyjne odniesione do zapotrzebowania na energię (i wodę),
- koszty środowiskowe, takie jak podatki i koszty gospodarowania odpadami.

Koszty całkowite i relacje pomiędzy ich rodzajami różnią się i zależą od układu chłodzenia. System chłodzenia z niskimi nakładami finansowymi niekoniecznie jest systemem, który ma minimalne zapotrzebowanie na energię źródłową. Rozwiązania techniczne w celu minimalizacji zużycia zasobów często prowadzą do podwyższenia kosztów inwestycyjnych.

Dlatego ważne jest, by względy ekonomiczne nie były ograniczane jedynie do prostego porównania kosztów inwestycyjnych, ale także obejmowały koszty eksploatacyjne układu chłodzenia. W przypadku elektrowni koszty eksploatacyjne wiążą się z całkowitą sprawnością energetyczną. Należy oszacować efekt finansowy zmian sprawności spowodowanych wyborem innego systemu chłodzenia. W przypadku elektrowni zwykle porównuje się różne rozwiązania przy pomocy wspomnianej wcześniej metody techniczno-ekonomicznej, posługując się „urzeczywistnionymi” lub „waloryzowanymi” wskaźnikami, które są różne w różnych krajach.

## 2 TECHNOLOGICZNE ASPEKTY STOSOWANYCH UKŁADÓW CHŁODZENIA

### 2.1 Wstęp

Niniejszy rozdział przedstawia w skrócie zasady działania niektórych systemów chłodzenia stosowanych w przemyśle europejskim. Podane konfiguracje mają różnorodne zastosowania i wszystkie muszą spełniać wymagania procesowe, lokalne, środowiskowe oraz ekonomiczne. Różnią się również wielkością i typem wymienników ciepła, typami wentylatorów, jak też praktyką eksploatacyjną. Różnorodne systemy chłodzenia można klasyfikować według różnych kryteriów. W literaturze spotyka się następujące kryteria:

- systemy schładzane suchym powietrzem i systemy mokre wyparne – ze względu na dominującą zasadę termodynamiczną charakteryzuje je odpowiednio: jawna wymiana ciepła i kombinacja utajonej i jawnej wymiany ciepła. W chłodzeniu z odparowaniem te dwie zasady przenikają się wzajemnie, ale większa ilość ciepła wymieniana jest na sposób utajony, a w systemie chłodzenia powietrzem suchym zachodzi tylko jawna wymiana ciepła.
- systemy otwarte i zamknięte – w układzie otwartym medium procesowe lub chłodzące jest w kontakcie ze środowiskiem; w systemie zamkniętym medium procesowe lub chłodzące krąży wewnątrz rurek, wokół żeber lub kanałów i nie ma kontaktu z otoczeniem.
- systemy bezpośrednie lub pośrednie – w systemach bezpośrednich jest jeden wymiennik ciepła, w którym medium procesowe i chłodzące wymieniają ciepło; w systemach pośrednich najmniejsza liczba wymienników to dwa, z zamkniętym obiegiem wtórnym i medium chłodzącym pomiędzy procesem z chłodzeniem a pierwotnym czynnikiem chłodzącym. Ze względu na dodatkowy wymiennik, układy pośrednie mają większą temperaturę spiętrzenia (około 5 K). Systemy bezpośrednie i pośrednie są znane również jako systemy pierwotne i wtórne. W zasadzie każdy system chłodzenia bezpośredniego może być przebudowany na pośredni i to rozwiązanie jest rozważane w sytuacjach, gdy wyciek medium procesowego może spowodować zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Bezpośrednie kontaktowe systemy chłodzenia (nie należy mylić z bezpośrednimi/pośrednimi) nie są opisywane w tym dokumencie referencyjnym BREF, ponieważ ich charakterystyki zależą bardzo ściśle od rodzaju procesu przemysłowego, w którym są stosowane (np. przy wytopie stali). Inny typ chłodzenia to system z jednorazowym przepływem ze skraplaczami barometrycznymi, w których przepływający gaz jest bezpośrednio chłodzony przez natrysk wody. Można je znaleźć w przemyśle spożywczym. W tym dokumencie systemy te nie są opisywane. Nie mówi się tu także o systemach z technologią próżniową lub wykorzystujących czynniki chłodnicze np. z grupy HCFC.

W praktyce w Europie i poza nią istnieje różnorodność nazw używanych w odniesieniu do sprzętu i konfiguracji używanych w chłodzeniu. Stosowana nomenklatura jest często połączona z celami zastosowania i typologią elektrowni w odniesieniu do procesu skraplania (patrz załącznik XII). Z przedstawionych powyżej zasad wynika następująca lista powszechnie stosowanych w przemyśle europejskim układów.

- systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem (z lub bez wieży chłodniczej)
- otwarte systemy chłodzenia z recyrkulacją (mokre wieże chłodnicze)

- zamknięte systemy chłodzenia
  - systemy z powietrzem chłodzącym
  - zamknięte mokre systemy chłodzenia
- połączone systemy chłodzenia mokry/suchy (hybrydowe)
  - otwarte hybrydowe wieże chłodnicze
  - hybrydowe wieże chłodnicze z obiegiem zamkniętym

Zamknięte systemy chłodzenia z recyrkulacją można podzielić na małe, wystanadaryzowane systemy i duże układy budowane lub składane na miejscu. Ogólnie, systemy z jednorazowym przepływem i otwarte systemy z recyrkulacją są stosowane w większych jednostkach przemysłowych w przemyśle energetycznym i (petro-) chemicznym.

Pojęcie wieża jest stosowane zarówno do typów o konstrukcjach płaszczowych (np. wielkie wieże z przepływem grawitacyjnym), jak też do typów o budowie kompaktowej, które mogą być małe i instalowane na dachach.

Dla porównania w tabeli 2.1 zestawiono techniczne i termodynamiczne charakterystyki najbardziej powszechnych przemysłowych systemów chłodzenia. Dane te są przykładowe i zestawione przy wielu przyjętych założeniach (patrz legenda do tabeli). Należy sobie zdawać sprawę, że temperatury spiętrzenia różnią się i zależą bardzo silnie od konstrukcji wymiennika ciepła i temperatury otoczenia. Minimalne temperatury końcowe medium procesowego także od tego zależą. Dla elektrowni, temperatura spiętrzenia jest liczona w inny sposób (patrz załącznik I).

**Tabela 2.1: Przykładowe techniczne i termodynamiczne parametry różnych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych (nie w elektrowniach)**  
[tm139, Eurovent, 1998]

System chłodzenia	Medium chłodzące	Wiodąca zasada chłodzenia	Minimalna temp. spiętrzenia (K) <sup>4)</sup>	Minimalna osiągnięta temp. medium procesowego <sup>5)</sup> (°C)	Wydajność procesu przemysłowego (MW <sub>th</sub> )
System otwarty z jednorazowym przepływem - bezpośredni	Woda	Przewodzenie/ Konwekcja	3 – 5	18 – 20	<0.01 - > 2000
System otwarty z jednorazowym przepływem - pośredni	Woda	Przewodzenie/ Konwekcja	6 – 10	21 – 25	<0,01 - > 1000
System otwarty z recyrkulacją - bezpośredni	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Parowanie <sup>3)</sup>	6 – 10	27 – 31	< 0,1 – >2000
System otwarty z recyrkulacją -	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Parowanie <sup>3)</sup>	9 – 15	30 – 36	< 0,1 - > 200

pośredni					
Mokry zamknięty system chłodzenia	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Parowanie + konwekcja	7 – 14 <sup>7)</sup>	28 – 35	0,2 – 10
Zamknięty system chłodzenia z powietrzem	Powietrze	Konwekcja	10 – 15	40 – 45	< 0,1 – 100
Otwarty system hybrydowy	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Parowanie + konwekcja	7 – 14	28 – 35	0,15 – 2,5 <sup>6)</sup>
Zamknięty system hybrydowy	Woda <sup>1)</sup> Powietrze <sup>2)</sup>	Parowanie + konwekcja	7 – 14	28 – 35	0,15 – 2,5 <sup>6)</sup>
Uwagi:					
1) Woda jest wtórnym medium chłodzącym i jest w większości recykulowana. Woda odparowana oddaje ciepło do powietrza.					
2) Powietrze jest medium chłodzącym i odprowadza ciepło do otoczenia.					
3) Głównym procesem chłodzenia jest parowanie. Ciepło jest wymieniane przez przewodzenie/konwekcję, ale w mniejszym stopniu.					
4) Należy dodać temperatury spiętrzeń dla wymiennika ciepła i wieży chłodniczej.					
5) Temperatury końcowe zależą od lokalnego klimatu (obowiązują dane dla średnich warunków klimatycznych w Europie 30°/21°C temp. suchego /mokrego termometru i 15°C maks. temperatura wody).					
6) Wydajność małych jednostek – możliwe do osiągnięcia większe wydajności przy połączeniu wielu jednostek lub specjalnie budowanych układów chłodzenia.					
7) Tam gdzie stosuje się układy pośrednie lub gdzie ciepło wymieniane jest na zasadzie konwekcji temp. spiętrzenia w tym przykładzie wzrasta o 3-5 K prowadząc do wzrostu temperatury procesu.					

Przykład tabeli 2.1 pokazuje, że konfiguracje są opisywane różnymi zakresami temperatur i że pożądane zakresy temperatur mogą wpływać na wybór odpowiedniej konfiguracji. Ze względu na miejsce i koszty, suche systemy chłodzenia są generalnie nieużywane przy dużych wydajnościach, gdzie przy usuwaniu ciepła odpadowego do 2000 MW<sub>th</sub> lub więcej może być stosowane chłodzenie wodne.

Temperatury spiętrzenia są wyższe w skraplaczach. Z temperaturą spiętrzenia dla systemów z jednorazowym przepływem związana jest suma „różnicy końcowej” i wzrostu temperatury wody chłodzącej. Pojęcie „różnicy końcowej” odnosi się do różnicy temperatur pomiędzy temperaturą pary dopływającej do skraplacza (lub skroplonej pary opuszczającej skraplacz) i temperaturą medium chłodzącego (wody) opuszczającej skraplacz. Osiągane wartości mieszczą się w zakresie od 3 do 5 K. Stosowane dane są prezentowane w tabeli 2.2.

**Tabela 2.2: Przykłady wydajności i właściwości termodynamicznych różnych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych**

[Komentarz EDF/[tm056, Caudron, 1991]][tm056, Caudron, 1991][tm056, Caudron, 1991]]

System chłodzenia	Stosowane temp. spiętrzenia (K)	Wydajność procesu wytwarzania mocy (MW <sub>th</sub> )
Systemy otwarte z jednorazowym przepływem	13-20 (różnica końcowa 3-5)	< 2700

Otwarte wieże chłodnicze mokre	7-15	< 2700
Otwarte wieże chłodnicze hybrydowe	15-20	< 2500
Skraplacze chłodzone powietrzem	15-25	< 900

Niniejszy rozdział podaje przegląd najczęściej stosowanych przemysłowych systemów chłodzenia i wskazuje związane z nimi aspekty środowiskowe. Bardziej szczegółowe dane dotyczące wymienników ciepła i materiałów można znaleźć w załącznikach III i V, jak też dokumentach z literatury. W dalszej części tekstu będą stosowane najczęściej spotykane w literaturze pojęcia techniczne.

## 2.2 Wymienniki ciepła

Wymienniki ciepła są głównymi urządzeniami biorącymi udział w wymianie ciepła, będącymi częścią zarówno procesu z chłodzeniem jak i systemu chłodzenia. Oprócz wymiennika ciepła do rozładunku ciepła do środowiska stosowane są różne inne urządzenia pomocnicze. Przeważnie stosowane są dwa typy wymienników ciepła: wymienniki płaszczowo-rurowe (najczęściej) i płytowe.

### 2.2.1 Płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła

Istnieje wiele doświadczeń z tym rodzajem wymienników ciepła w procesach przemysłowych. Udowodniono także ich dużą przydatność. Istnieje zakres stosowanych różnych rozwiązań konstrukcyjnych, z prostymi rurami lub z rurami w układzie U. Stosuje się je również w przypadkach, gdy wymiennik jest projektowany specjalnie na wysokie ciśnienia, wysokie temperatury, do pracy z parą i gorącymi cieczami. Zazwyczaj w rurach przepływa woda chłodząca a medium procesowe przepływa w płaszczu omywając rury. W celu bardziej szczegółowego poznania wymienników płaszczowo-rurowych patrz załącznik II.

### 2.2.2 Płytowe wymienniki ciepła

Płytowe wymienniki ciepła mają coraz większe zastosowanie w rafinacji cukru, przemyśle (petro-) chemicznym i elektrowniach. Są one szczególnie polecane w przypadku niskich temperatur spiętrzenia jak również przy temperaturach niższych niż 0°C. Jednak, wymienniki te są mniej przydatne do chłodzenia pary i przy dużych objętościach gazu oraz w sytuacjach, gdzie istnieje niebezpieczeństwo sedymentacji i/lub pokrywania osadem oraz przy wysokich różnicach ciśnień pomiędzy cieczą procesową a chłodziwem. Niektóre rozwiązania mają podwójną konstrukcję w celu zagwarantowania szczelnego działania, ale są uważane za bardzo trudne w konserwacji. Płytowe wymienniki ciepła są ekonomiczne, gdyż mają bardziej kompaktową budowę (np. okrągłe) od wymienników płaszczowo-rurowych o tej samej powierzchni wymiany ciepła.

### 2.2.3 Wymienniki ciepła a aspekty środowiskowe

Poniżej podano najważniejsze ze środowiskowego punktu widzenia cechy stosowania dwóch wyżej omówionych rodzajów wymienników ciepła:

- konstrukcja odpowiednia dla efektywnej wymiany ciepła;

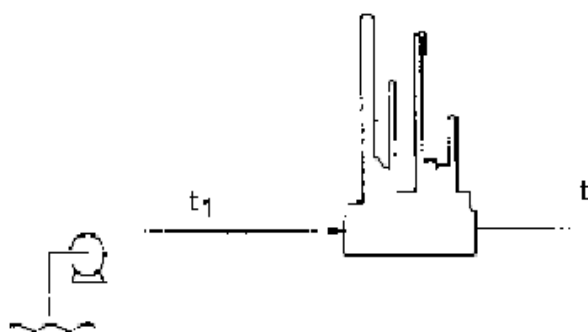
- budowa zabezpieczająca przed przedostawaniem się medium procesowego do medium chłodzącego;
- wybór materiałów dla efektywnej wymiany ciepła, odpornych na korozję w wodzie i korozję wywołaną przez medium procesowe;
- możliwość używania urządzeń do mycia mechanicznego.

## 2.3 System chłodzenia z jednorazowym przepływem

### 2.3.1 Bezpośrednie systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem

#### Opis techniczny

W bezpośrednich systemach z jednorazowym przepływem woda jest pompowana ze źródła (np. rzeki, jeziora, morza lub ujścia rzeki) przez duże kanały wodne bezpośrednio do procesu chłodzenia. Po przejściu przez wymienniki ciepła lub skraplacze ogrzana woda jest zrzucana bezpośrednio do wód powierzchniowych. Ciepło jest przekazywane od procesu do chłodziwa dzięki przegrodom w postaci rurek w płaszczowo-rurowych i płytowych wymiennikach ciepła. Systemy z jednorazowym przepływem są różnie nazywane. Dla przykładu, w przemyśle papierniczym, o wodzie chłodzącej młyny w systemie z jednorazowym przepływem mówi się „zasilanie młyna”. [tm010, Betz, 1991]



**Rysunek 2.1: Schemat przedstawiający bezpośredni system chłodzenia z jednorazowym przepływem**  
[tm001, Bloemkolk, 1997]

#### Wydajność chłodzenia

Systemy z jednorazowym przepływem są projektowane przeważnie na wielkie wydajności ( $>1000 \text{ MW}_{\text{th}}$ ), ale mogą być też stosowane w systemach małych ( $< 10 \text{ kW}_{\text{th}}$ ). Typowe wydatki objętościowe wody w dużych elektrowniach dla mocy chłodzenia  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  mieszczą się w zakresie od  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\Delta T = 12\text{K}$ ) do  $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\Delta T = 7\text{K}$ ). Przy chłodzenia z jednorazowym przepływem mogą być osiągnięte niskie temperatury końcowe przy temperaturach spiętrzenia 3-5K.

#### Aspekty środowiskowe

W przypadku systemów z jednorazowym przepływem wyróżnia się następujące aspekty środowiskowe:

- zużywanie dużych ilości wody,



- emisja ciepła,
- niebezpieczeństwo związane z dostawianiem się ryb do systemu chłodzenia,
- wrażliwość na osady pochodzenia organicznego, łuszczenie się osadów i korozja,
- używanie uzdatniaczy i związana z tym emisja do środowiska,
- zapotrzebowanie na energię, głównie do napędu pomp,
- niebezpieczeństwo przecieków strumienia procesowego i
- zapychanie filtrów nanoszonym mułem przy czerpaniu wody.

### **Zastosowanie**

Systemy z jednorazowym przepływem są używane w dużych procesach przemysłowych takich jak wytwarzanie prądu elektrycznego, w przemyśle chemicznym i rafineriach. Wody używane w systemach z jednorazowym przepływem to głównie wody powierzchniowe. Na mniejszą skalę, np. do chłodzenia pomp używa się też wody bieżącej z sieci wodociągowej lub wody gruntowej.

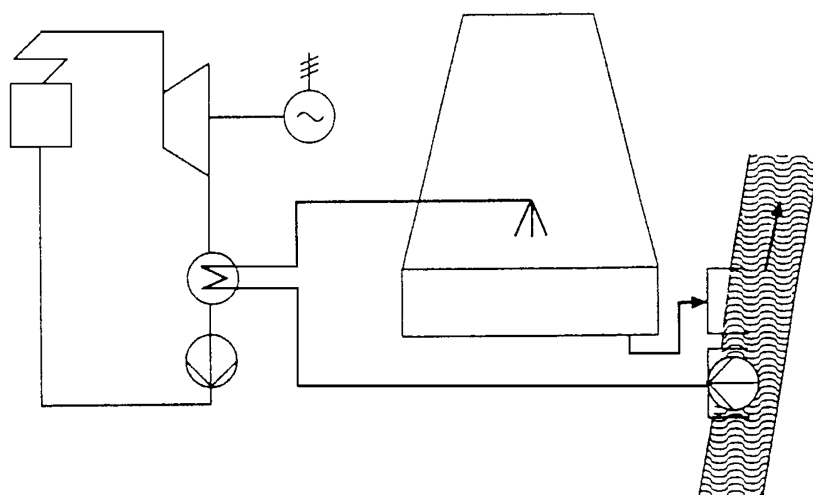
Warunkiem podstawowym dobrej pracy systemów z jednorazowym przepływem jest niezawodne źródło wody o odpowiednio niskiej temperaturze. Na dostępność źródła mogą także wpływać jakość wody i limity emisji ciepła do wody, ale generalnie wymagania dotyczące jakości i składu chemicznego wody są mniej restrykcyjne niż dla systemów z recyrkulacją. [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

### **2.3.2 Systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem z wieżą chłodniczą**

Ponieważ w procesie wytwarzania energii elektrycznej w skraplaczu występują podciśnienia, przeciek w skraplaczu (w elektrowni) oznacza zanieczyszczenie wody procesowej wodą chłodzącą.

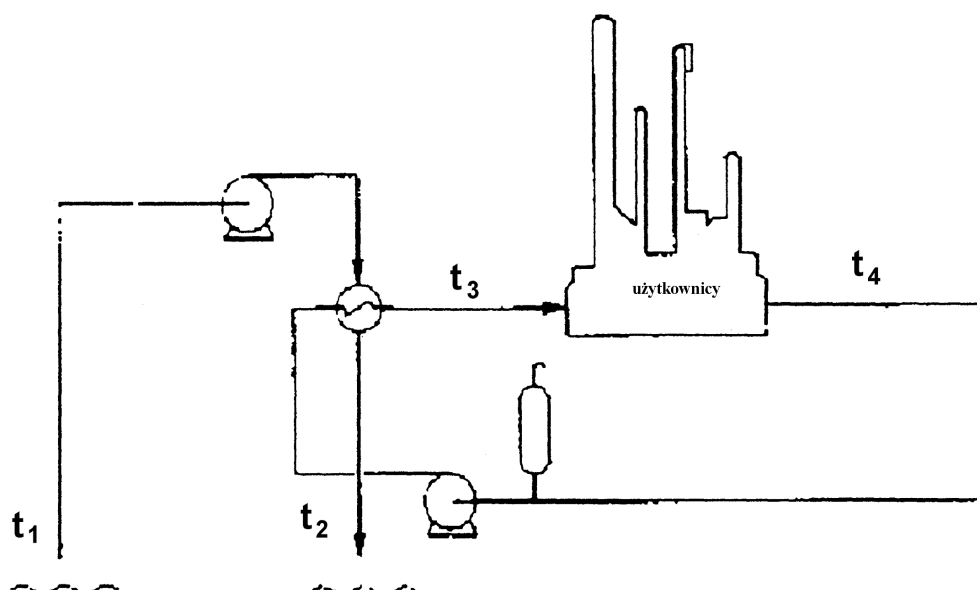
W wielu miejscach systemy z jednorazowym przepływem są połączone z wieżą chłodniczą w celu wstępnego ochłodzenia wody zrzutowej przed jej odprowadzeniem do wód powierzchniowych. Konfiguracja ta jest stosowana w przypadkach, w których woda chłodząca może, krążąc w otoczeniu, podnieść temperaturę źródła w tej samej lub w innej fabryce. Strumień objętościowy rzeki, pływy, wielkość elektrowni i temperatura wody powierzchniowej to także bardzo istotne czynniki. Ten rodzaj wstępnego ochładzania może być umiejscowiony w elektrowniach na wybrzeżu morza i u ujścia rzek oraz na pełnym lądzie, na brzegach rzek.

Aspekty środowiskowe stosowania mokrych otwartych wież chłodniczych odnoszą się także do wyżej opisanych systemów z jednorazowym przepływem wody chłodzącej. Przy wyborze wypełnienia wieży chłodzącej należy wziąć pod uwagę tworzenie się osadów pochodzenia biologicznego. Ogólnie, stosuje się wieże chłodnicze z wypełnieniami szerokimi lub rozproszonymi.



Rysunek 2.2: Schemat prezentujący system chłodzenia z jednorazowym przepływem z wieżą chłodniczą stosowany w przemyśle energetycznym [tm132, Eurelectric, 1998]

### 2.3.3 Pośrednie systemy chłodzenia z jednorazowym przepływem



Rysunek 2.3: Schemat prezentujący pośredni system chłodzenia z jednorazowym przepływem [tm001, Bloemkolk, 1997]

#### Opis techniczny

Ten system chłodzenia jest podobny do systemu bezpośredniego z jednorazowym przepływem, choć różni się tym, że w systemie pośrednim nie ma bezpośredniej wymiany ciepła pomiędzy cieczą/parą procesową a zrzucanym do otoczenia chłodziwem. Używa się tu też pojęcia wtórnego systemu chłodzenia. Ciepło jest transportowane od medium procesowego lub z produktu do chłodziwa, które krąży w obiegu zamkniętym ( $t_3$  i  $t_4$ ).

Chłodziwo w układzie wtórnym transportuje ciepło w wymiennikach ciepła do chłodziwa (np. wody powierzchniowej), które przepływa przez wymienniki ciepła tylko raz i nazywa się je także pierwotną wodą chłodzącą ( $t_1$  i  $t_2$ ). Woda ta jest bezpośrednio zrzucana do wód powierzchniowych, podczas gdy chłodziwo wtórne pozostaje w obiegu zamkniętym.

### Wydajność chłodzenia

Przy pośrednim chłodzeniu z jednorazowym przepływem, można uzyskać tak samo niską końcową temperaturę, ale ze względu na dodatkowy wymiennik ciepła temperatura spiętrzenia może się podnieść o ok. 3-5K, w zależności od sprawności wymiennika ciepła.

### Aspekty środowiskowe

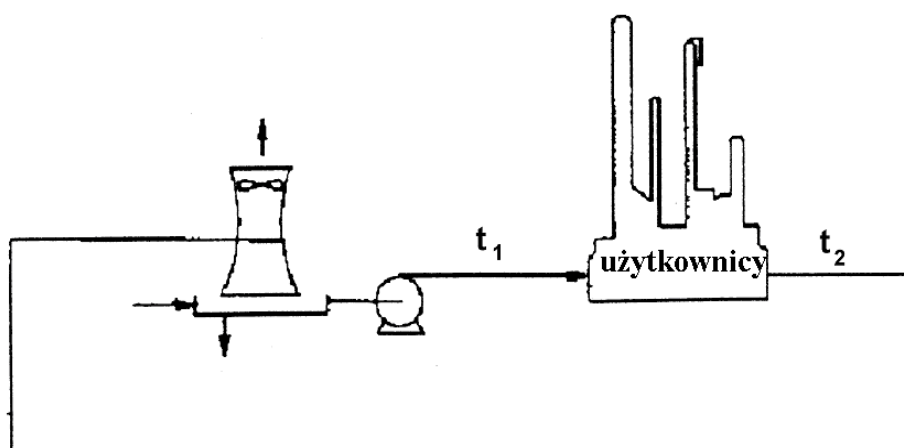
Patrz także bezpośredni OTS. Przyjęta konfiguracja zmniejsza do minimum lub do zera ryzyko przedostania się cieczy procesowych do wód powierzchniowych.

### Zastosowanie

Pośredni system chłodzenia z jednorazowym przepływem jest stosowany wtedy, gdy istnieje niebezpieczeństwo dla środowiska ze strony medium procesowego w przypadku przedostania się go do wody chłodzącej. Dostępność i jakość wody powierzchniowej to także ważne czynniki w systemie chłodzenia. Opisywany system tworzy także pewne obciążenie cieplne wody zwracanej do wód powierzchniowych. Jednym z wariantów jest wtedy system pośredni z jednorazowym przepływem, w którym ponownie używa się części wody z obiegu pierwotnego. Ta część jest przed jej zmieszaniem ze świeżo dostarczaną wodą chłodzącą chłodzona przez powietrze. Ta dodatkowa wydajność chłodnicza może być stosowana okresowo w ciągu roku, gdy dostępna jest niewystarczająca ilość wody chłodzącej.

Generalnie, wynikiem stosowania dodatkowego wymiennika ciepła (np. o wysokiej temp. spiętrzenia) są możliwe do osiągnięcia temperatury końcowe procesu, które są tak niskie jak w przypadku chłodzenia bezpośredniego z jednorazowym przepływem wody chłodzącej.

## 2.4 Otwarte systemy chłodzenia z recyrkulacją



Rysunek 2.4: Schemat prezentujący otwarty system chłodzenia z recyrkulacją [tm001, Bloemkolk, 1997]

## Opis techniczny

Otwarte systemy chłodzenia z recyrkulacją są nazywane również otwartymi wyparnymi systemami chłodzenia. W systemach tych, woda chłodząca, która biegnie przez wymiennik (układ wymienników) jest schładzana w wieży chłodniczej, gdzie przeważająca ilość ciepła jest przekazywana do otoczenia. W wieży chłodniczej ogrzana woda jest rozprowadzana po wypełnieniu wieży chłodniczej i schładzana w wyniku kontaktu z powietrzem a następnie zbierana w zbiorniku, po czym jest pompowana z powrotem do źródła ciepła, a tam używana ponownie jako chłodziwo. Ruch powietrza jest wywoływany naturalnie lub tworzony przy pomocy wentylatorów, które zasysają albo tłoczą powietrze przez objętość chłodni. Schładzanie wody przebiega na skutek odparowania małej ilości wody chłodzącej i utraty ciepła jawnego przez wodę na rzecz powietrza za sprawą konwekcji. Na poziomie pracy tych systemów duży wpływ wywierają poziomy temperatur mokrego i suchego termometru.

Większa część wody chłodzonej w wieży jest zawracana i może być użyta ponownie jako chłodziwo. Główne powody utraty wody to odparowanie, porwanie cząstek wody przez powietrze, celowe wydmuchiwanie wody i ucieczki przez nieszczelności. Wywoływanie celowego porywania wody wiąże się z chęcią uniknięcia tworzenia się grubej warstewki wody na wypełnieniu (załącznik VI). W celu zrekompensowania utraconej ilości wody, jest ona uzupełniana. Ogólnie rzecz biorąc, uzupełnienie w systemie z recyrkulacją wynosi około 1-3% przepływu wody w systemie z jednorazowym przepływem o tej samej wydajności chłodzenia. W przypadku elektrowni może to być 1-5%. Przepływ jest równy około „0,25% x poziom chłodzenia”, który odnosi się do ilości wody uzupełnianej jako procentu wody krążącej w obiegu. Ilość wody usuniętej mieści się w zakresie 0,15-0,80 m<sup>3</sup>/s na 1000 MW<sub>th</sub> chłodzenia. (Czas utraty połowy ilości wody waha się od jednej godziny do czterech dni.) System ten wymaga odpowiedniej ilości dostępnej wody w ciągu całego roku i systemu uzdatniania.

## Wydajność chłodzenia

Systemy otwarte z recyrkulacją są głównie używane w zastosowaniach przemysłowych przy wydajnościach od 1 do 100 MW<sub>th</sub>, ale także w elektrowniach przy o wiele większych wydajnościach. Układy te są przeważnie stosowane na pełnym ładzie, gdzie istnieją niedobory wody, lub gdzie niedopuszczalne jest podniesienie się temperatury wody zrzucanej do otoczenia (sytuacji spotykanej nad rzekami w gorące letnie miesiące [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]). Wieże chłodnicze transportują do atmosfery ciepło w 80% w postaci ciepła utajonego (para wodna) i w około 20% w postaci ciepła jawnego [tm132, Eurelectric, 1998]. Temperatury spiętrzenia równe 4K są technicznie i ekonomicznie osiągalne w zakresie temperatur pomiędzy 15° a 30°C. Przyrosty i minimalna końcowa temperatura zależą od lokalnych warunków klimatycznych.

## Aspekty środowiskowe

Aspekty środowiskowe systemów z recyrkulacją zależą w szczególności od typu wieży chłodniczej i sposobu jej pracy. Są one następujące:

- uzdatniacze wody chłodzącej są emitowane przez wydmuchiwanie do atmosfery a przez to dostają się do wód powierzchniowych,
- zużycie energii na napęd pomp i wentylatorów,
- emisje do powietrza,
- tworzenie się oparów, kondensatu i lodu,
- hałas,

- odpady powstające ze złomowania wypełnienia wieży chłodniczej i
- zagrożenia zdrowia ludzkiego.

### **Zastosowanie**

Systemy z recyrkulacją są stosowane w wielu typach procesów. Jedną z cech charakterystycznych to redukcja mocy cieplnej dostarczanej do środowiska przez zmianę ośrodka, do którego ciepło jest odprowadzane. Wodę zamienia się na powietrze. Inną cechą jest redukcja ilości wody używanej do chłodzenia. Dlatego powszechną praktyką jest modyfikacja systemów chłodzenia z jednorazowym przepływem na otwarte wyparne systemy chłodzenia przez zastosowanie jednej lub wielu wież chłodniczych.

Istnieją następujące systemy otwarte z recyrkulacją:

- otwarte mokre wieże chłodnicze
- otwarte hybrydowe lub mokre/suche wieże chłodnicze

#### **2.4.1 Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza**

### **Konstrukcja**

Duże chłodnie są obecnie typu płaszczowego i budowane są ze zbrojonego betonu. Konstrukcje mają przeważnie kształt płaszcza w postaci hiperboloidy obrotowej, która posiada zalety w dwu aspektach: termodynamicznym i statycznym. Koszty inwestycyjne są wysokie, ale koszty eksploatacji pozostają na relatywnie niskim poziomie. Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza są powszechnie używane przy dużych elektrowniach i w dużych zakładach przemysłowych.

### **Układ zasilania w wodę**

Woda z wymiennika ciepła jest dostarczana do chłodni dzięki układowi doprowadzającemu. Układ ten tworzy małe kropelki wody i cienką jej warstewkę na wypełnieniu. Właściwe rozproszczenie wody podwyższa stopień wymiany ciepła. Dostępne są także inne opcje, stosowane w przypadkach, kiedy zachodzi potrzeba obniżenia wydajności chłodzenia. Oferowane są także moduły dostosowane do pracy w zimie, oparte na podgrzewie powietrza chłodzącego.

### **Wypełnienie wieży chłodniczej**

Sekcja wypełnienia to bardzo ważny element w każdej mokrej wieży chłodniczej. Tworzy ona powierzchnię kontaktu wody i powietrza wymieniających między sobą ciepło. Może to być wypełnienie warstewkowe lub wypełnienie rozproszeniowe. Wypełnienie warstewkowe zazwyczaj składa się z ciasno upakowanych, pofalowanych prostokątnych blaszek z materiału organicznego, które powodują spływanie wody w dół wieży w postaci cienkiej warstewki. Wypełnienie to jest bardzo efektywne i może być używane w wielu zastosowaniach. Pewne typy wypełnienia mogą wymagać wody o dobrej jakości, ponieważ mogą być nieodporne na tworzenie się na nich osadu.

Wypełnienie typu rozproszonego można odnaleźć w różnych konfiguracjach i może być zbudowane z różnych materiałów (np. drewna). Wypełnienie to jest dużo mniej efektywne niż warstewkowe, ale jest używane w szczególnych okolicznościach np. kiedy woda jest silnie

zanieczyszczona lub jest słabej jakości, czyli w wypadku, w którym przy wypełnieniu warstewkowym będą problemy z osadzaniem się zanieczyszczeń na powierzchni. W przypadku dużej ilości zanieczyszczeń mechanicznych, stosuje się także kawałki cementu.

### Odkraplacze

W celu oszczędzania wody, nad dystrybutorami wodnymi instalowane są odkraplacze, aby zatrzymywać krople wody porywane przez powietrze. Obecnie, używa się do tego celu wielu materiałów, takich jak plastik czy włókna cementowe. Odkraplacze projektuje się tak, aby minimalizować spadek ciśnienia przy przepływie.

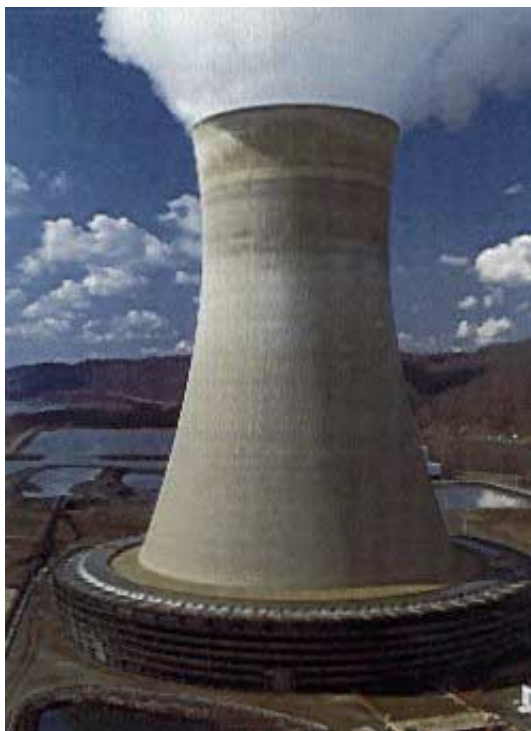
### Charakterystyka mokrych wież chłodniczych z grawitacyjnym przepływem powietrza:

- przepływ powietrza jest spowodowany różnicą gęstości powietrza i kształtu wieży chłodniczej (jak w konstrukcji komina);
- stosowane wysokości (80-200 m.); [wysokość konstrukcji jest przeszkodą dla ludzi, ruchu lotniczego, transmisji elektronicznych i chmur];
- nie ma zapotrzebowania na energię do napędu wentylatorów, chyba że instaluje się wentylatory, które umożliwiają stawianie niższych chłodni;
- są projektowane na przeciwprąd i wypełnienie wewnętrzne lub przepływ krzyżowy i wypełnienie zewnętrzne (patrz i);
- wymagają minimalnego obciążenia cieplnego, np. wieże chłodnicze będące w eksploatacji przez okres 60% całego roku;
- są powszechnie stosowane w przypadku usuwania ciepła odpadowego w ilości większej niż 200 MW<sub>th</sub>, np. wielkie fabryki takie jak elektrownie lub wielkie fabryki przemysłowe;
- mają możliwość odsiarczania gazów odlotowych, także zabezpieczają przed wtórnym ogrzewaniem się spalin - zjawiska niekorzystnego ze względów ekologicznych;





**Rysunek 2.5: Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza w przeciwnym kierunku**  
[tm103, BDAG, 1996]



**Rysunek 2.6: Mokre wieże chłodnicze z grawitacyjnym przepływem powietrza w przepływie krzyżowym**  
[tm010, Betz, 1991]

#### 2.4.2 Mokre wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym

##### Konstrukcja

Mokre wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym są stosowane w różnych typach konstrukcji. Do budowy tych wież chłodniczych używane jest szerokie spektrum materiałów, w zależności od wielkości, typu i wymogów stawianych przez lokalizację, czas serwisowania i posiadany kapitał. Większe układy są budowane ze zbrojonego betonu, mniejsze mogą być budowane inaczej, ale przeważnie są zbudowane z materiałów syntetycznych, blach metalowych, stali platerowanej lub betonu. Dla relatywnie małych chłodni ( $5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) ciągle w użyciu jest drewno, które jest tańsze i z którego można budować w ciągu całego roku i jest to proces szybszy niż w przypadku chłodni betonowych.

Istnieje także możliwość układów modułowych np. wiele chłodni o tej samej konstrukcji połączonych równolegle. W ten sposób system może być eksploatowany w sposób najbardziej ekonomiczny, wybierając liczbę modułów do pracy zależnie od warunków otoczenia i od ilości usuwanego ciepła.

Wpływ jaki wieża chłodnicza wywiera na środowisko naturalne zależy od materiału, z jakiego została wykonana i typu jej konstrukcji. Zależnie od rodzaju, rozmiarów lub branży w literaturze używa się wiele nazw opisujących zastosowanie tych wież. Za przykład mogą posłużyć okrągłe wieże chłodnicze i wieże chłodnicze typu komórkowego; oba rodzaje z ssącym i tłoczącym systemem podawania powietrza na wymiennik.

Konstrukcja wyposażenia zapewniającego **dystrybucję wody, wypełnienie i odkraplacz** mogą być inne w przypadku mokrych wież chłodniczych z grawitacyjnym przepływem powietrza, ale zjawiskami tymi rządzą jednakowe prawa.



**Rysunek 2.7: Wieża chłodnicza z grawitacyjnym przepływem powietrza i wentylatorem pomocniczym [tm103, BDAG, 1996]**

### **Wentylatory**

W wieżach chłodniczych z ciągiem wymuszonym wentylatory wywołują przepływ powietrza, a przez to mogą być niższe od konstrukcji z grawitacyjnym przepływem powietrza. W wieżach chłodniczych (suchych, mokrych lub mieszanych) instaluje się wiele różnych typów wentylatorów. Zależnie od wymagań, wentylatory różnią się średnicą, wielkością łopatek i rodzajem przepływu (osiowe lub promieniowe). Dodatkowo, elastyczność pracy wieży chłodniczej jest zapewniana przez zastosowanie wentylatorów o różnych prędkościach napędu. Wybór typu i napędu wentylatora będzie wpływać na zapotrzebowanie na energię i emisję hałasu przez wieżę chłodniczą. Zależnie od sposobu przepływu powietrza rozróżnia się systemy z tłoczonym i zasysanym powietrzem.

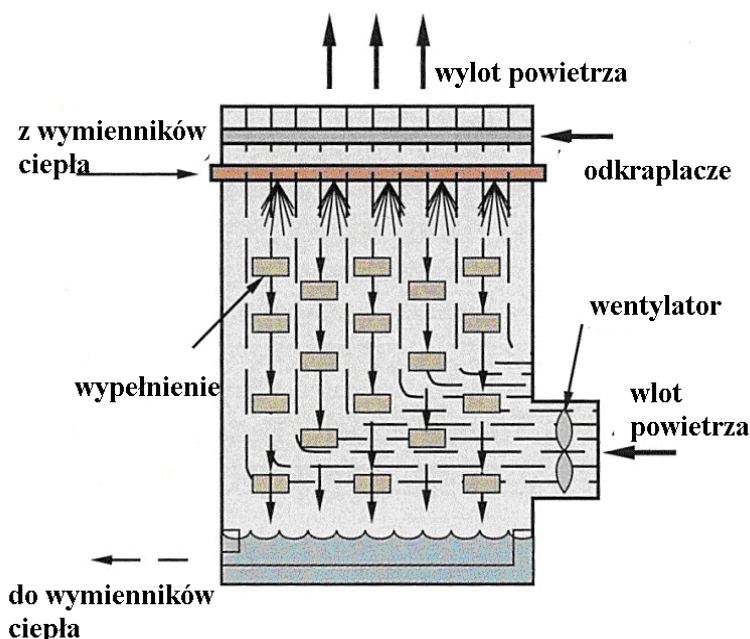
Wieże wyposażone w wentylatory są stosowane tam, gdzie warunki lokalne wymagają by wieże były niskie.

#### **2.4.2.1 Mokre wieże chłodzące z tłoczonym powietrzem**

##### **Charakterystyka wieży z powietrzem tłoczonym:**

- wentylatory stanowią główny element wywołujący ruch powietrza przez wieżę chłodniczą;
- charakterystyki termiczne można regulować w sposób krokowy lub modułowy;
- stosowane są konstrukcje z jednym i wieloma wentylatorami;
- rozmiary wieży są zredukowane i wymagają mniejszej przestrzeni niż w przypadku wieży wykorzystującej ciąg naturalny;
- chłodnie te można dopasowywać do terenu (np. instalacje na dachach budynków);
- zakłada się, że bezpośrednio zużycie energii jest niskie;
- wieże są projektowane na przepływ przeciwnyprądowy;

- mogą być projektowane do wielu zastosowań: przy maksymalnym obciążeniu i dużych ilościach usuwanego ciepła oraz od wydajności podstawowych do wartości średnich;
- stosuje się je w następującym zakresie wydajności: od niższych niż  $100 \text{ kW}_{\text{th}}$  do przekraczających  $100 \text{ MW}_{\text{th}}$ ;
- kapitał inwestycyjny jest niski w porównaniu do wież z grawitacyjnym przepływem powietrza;
- przy użyciu wież chłodniczych z powietrzem tłoczonym, muszą być spełnione wymagania w odniesieniu do poziomu emisji hałasu, wilgotności (opary) i bakterii.



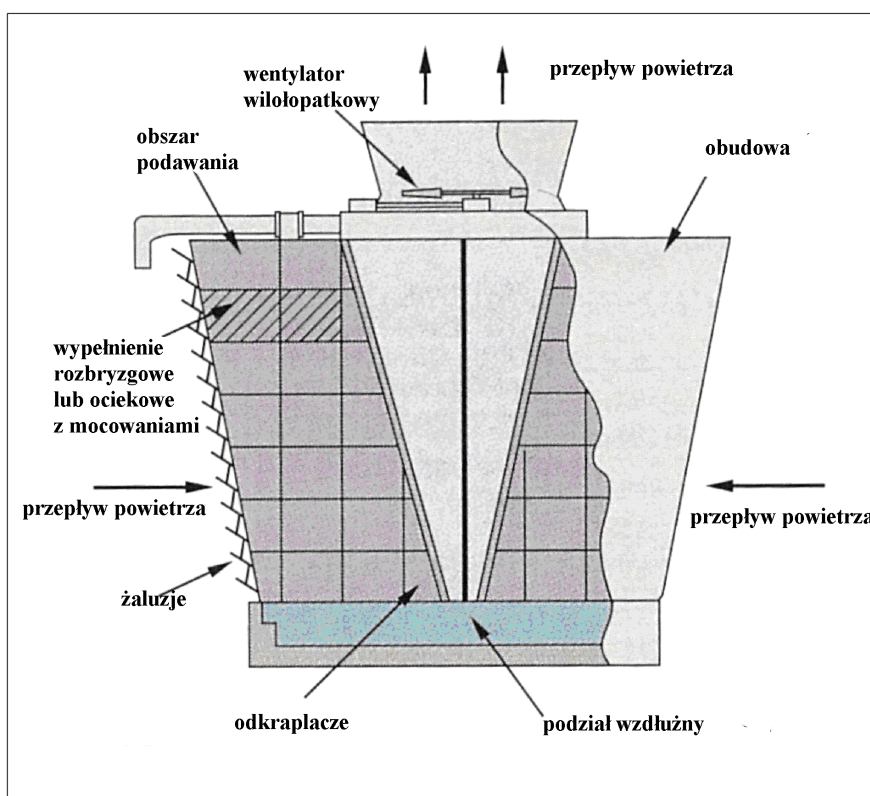
Rysunek 2.8: Schemat zastosowania wieży chłodzącej z przepływem przeciwprądowym

#### 2.4.2.2 Mokre wieże chłodnicze z powietrzem zasysanym

##### Charakterystyka wieży chłodniczej z powietrzem zasysanym:

- wentylatory umieszczone u szczytu wieży wymuszają ruch powietrza w jej wnętrzu;
- w pewnych granicach kontrolowane są charakterystyki termiczne,
- preferowana jest relatywnie prosta konstrukcja (prefabrykowane elementy, gotowy produkt),
- rozmiary wieży są zredukowane i wymagają mniejszej przestrzeni niż w przypadku wieży wykorzystującej ciąg naturalny;
- wydajność chłodzenia może być zwiększana przez pracę kilku sekcji;
- wieże te można dopasowywać do terenu (np. instalacje na dachach budynków);
- zakłada się koszty bezpośredniego zużycia energii są niskie,
- projektowane na przepływ przeciwprądowy lub krzyżowy,
- mogą być wykorzystywane w wielu zastosowaniach: przy maksymalnym obciążeniu i dużych ilościach usuwanego ciepła oraz od wydajności podstawowych do wartości średnich; są stosowane przy wydajnościach większych niż około  $100 \text{ MW}_{\text{th}}$ ,
- kapitał inwestycyjny jest niski w porównaniu do wieży z grawitacyjnym przepływem powietrza,

- przy użyciu wież chłodniczych z powietrzem zasysanym, muszą być spełnione wymagania w odniesieniu do poziomu emisji hałasu, wilgotności (opary) i bakterii.



Rysunek 2.9: Schemat wieży chłodniczej z powietrzem zasysanym, przepływ krzyżowy [tm010, Betz, 1991]

## 2.5 Systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym

### 2.5.1 Systemy chłodzenia powietrzem

W systemach chłodzonych powietrzem (lub suchych systemach chłodzenia) substancja (płyn, para) przepływa przez węzownice, rurki lub kanały, które są chłodzone omywającym je powietrzem. Ogólnie chłodzenie suchym powietrzem ma następujące zastosowania:

- chłodzenie mediów o prawie każdym składzie chemicznym, z uwzględnieniem właściwego materiału na wymiennik;
- w sytuacjach, w których do chłodzenia w wieżach natryskowo-wyparnych brak wody lub jest ona dostępna tylko przez krótki okres czasu i
- tam gdzie niedopuszczalne jest tworzenie się oparów.

#### Opis techniczny

Zależnie od zastosowania, zamknięty obieg schładzany powietrzem składa się z (żebrowanych) rur, węzownic lub kanałów w skraplaczu, wentylatorów z silnikami napędowymi i konstrukcją podtrzymującą wieżę. Medium procesowe lub chłodziwo (system pośredni) krąży w rurkach. Strumień powietrza powstaje w sposób naturalny lub jest tworzony przy pomocy wentylatorów i omywając rurki chłodzi medium na skutek konwekcji i przewodzenia. W prawie wszystkich przypadkach powietrze przepływa przez wymiennik

ciepła krzyżowo w stosunku do przepływu medium chłodzonego. Medium przepływa przez wymiennik jednokrotnie lub wielokrotnie.

W przypadku gdy medium procesowe jest cieczą, system chłodzenia jest nazywany systemem ochładzania cieczy powietrzem. Jeśli ochładzana jest para (gaz lub czynnik chłodniczy) w celu jej skroplenia i zamiany w ciecz, system chłodzenia nazywany jest skraplaczem chłodzonym powietrzem. Stosować je można w konstrukcjach z ciągiem naturalnym i wymuszonym mechanicznie.

Do budowy tych urządzeń używane jest szerokie spektrum materiałów odpornych na korozję. Wiele jest także rodzajów konstrukcji. Systemy ochładzane powietrzem można znaleźć w szeregu wielkich niezależnych jednostek, jak i w małych urządzeniach umieszczanych na dachach. Mogą pracować w układzie poziomym, pionowym, prostokątnym lub w układzie V w zależności wymagań danego miejsca jego stosowania.

### **Wydajność chłodzenia**

W praktyce, chłodzenie powietrzem jest używane do chłodzenia procesów wysokotemperaturowych ( $>80^{\circ}\text{C}$ ) do poziomu, w którym lepsze jest chłodzenie wodne. Siła napędowa wymiany ciepła to różnica temperatur pomiędzy temperaturą powietrza chłodzącego a temperaturą strumienia medium chłodzonego. Zakładana maksymalna temperatura powietrza chłodzonego może być przekroczona tylko kilka razy w roku. Zależy ona od obliczeniowej temperatury suchego termometru i warunków klimatycznych.

Ze względu na niskie ciepło właściwe powietrza ( $1,0 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ) i niskie współczynniki przewodzenia i wnikania, w porównaniu z chłodzeniem wodnym potrzebne są duże strumienie powietrza i wymienniki o dużej powierzchni. Z tego powodu, w celu zwiększenia efektywnej wymiany ciepła stosuje się żebrowanie rurek wymiennika. W przypadku konstrukcji chłodnic powietrznych, w oparciu o założenia ekonomiczne używa się minimalnej temp. spiętrzenia na wymienniku równej  $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ . Generalnie skutkuje to wyższymi temperaturami końcowymi (minimum  $40\text{-}45^{\circ}\text{C}$ ), jednak w obszarach, gdzie stwierdza się wyższe temperatury powietrza zewnętrznego, temperatury spiętrzenia i temperatury końcowe przekraczają wartości średnie przedstawione w tabeli 2.1 i tabeli 2.2. W przypadku układów pośrednich rośnie temperatura spiętrzenia ( $13\text{-}20^{\circ}\text{C}$ ) i osiągnięta temperatura końcowa ( $50\text{-}60^{\circ}\text{C}$ ).

### **Aspekty środowiskowe**

Głównymi aspektami oddziaływania na środowisko jest emisja hałasu i zużycie energii do napędu wentylatorów. Nie używa się wody, chyba że w charakterze chłodziwa w obiegu pośrednim. Woda ta, jako że pozostaje w obiegu zamkniętym, nie wymaga, lub wymaga w małym zakresie, uzdatniania.

Niezbędne jest czyszczenie zewnętrznych powierzchni rur (żebrowanych) a problem może narastać wraz z osiadaniami zanieczyszczeń z powietrza i małych owadów.

### **Zastosowanie**

Wymienniki ciepła chłodzone suchym powietrzem są stosowane szeroko w przemyśle na dużą i małą skalę. Wykorzystywane są do chłodzenia produktu w przemyśle chemicznym i petrochemicznym w skraplaniu pod obniżonym ciśnieniem w elektrowniach i przy chłodzeniu gazów wylotowych.

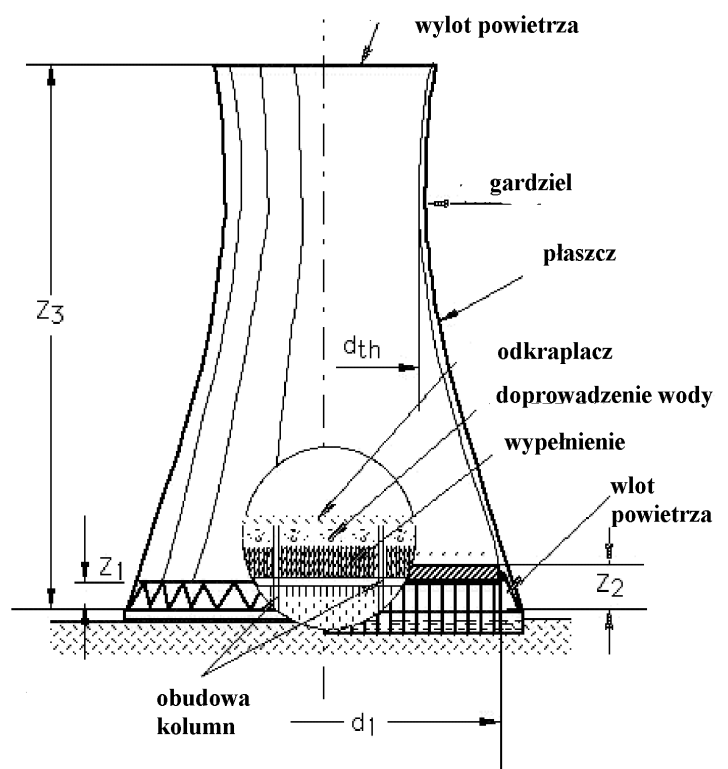
Co do wydajności, systemy chłodzone powietrzem w porównaniu z systemami mokrymi potrzebują większej powierzchni wymiany ciepła, co sprawia, że są ogólnie droższe. W przemyśle energetycznym, chłodzenie powietrzne jest używane tylko w szczególnych

przypadkach np. tam gdzie planowane jest stawianie elektrowni w miejscach z deficytem wody dla chłodzenia wodnego.

### 2.5.1.1 Wieża chłodnicza z grawitacyjnym przepływem powietrza

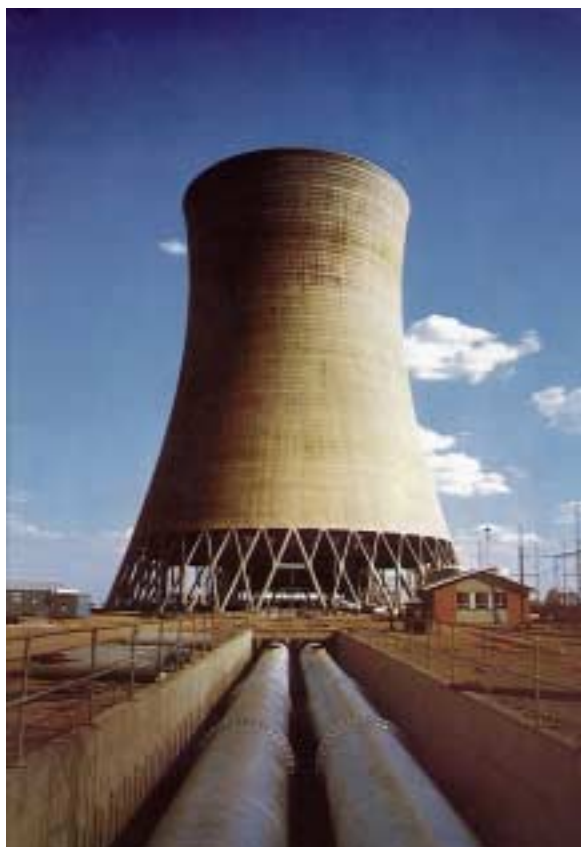
#### Charakterystyka wieży chłodniczej z grawitacyjnym przepływem powietrza:

- minimalne obciążenie bazowe np. więcej niż 60% roku w eksploatacji,
- zrzut ciepła w ilości większej niż  $200 \text{ MW}_{\text{th}}$ , np. wielkie zakłady jak elektrownie, duże zakłady przemysłu chemicznego, etc.,
- stosowane w sytuacjach, gdzie wymagana jest praca bez emisji hałasu,
- stosowane w sytuacjach, gdzie niedostępna jest woda zasilająca wieżę chłodniczą lub dostępna jest tylko przez krótki czas.



Rys. 2.10 Schemat budowy wieży chłodniczej z grawitacyjnym przepływem powietrza [Eurovent, 2000]



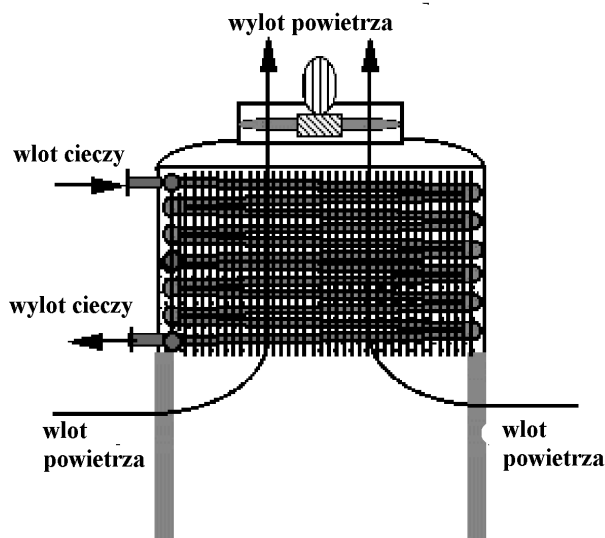


**Rys. 2.11** Przykład wieży chłodniczej w zastosowaniu przemysłowym [VGB, 2000]

### 2.5.1.2 Systemy chłodzenia cieczy powietrzem

#### **Charakterystyka powietrznych ochładzaczy cieczy:**

- charakterystyki temperaturowe regulowane pracą wentylatorów;
- niezbędny obieg zamknięty;
- stosowane systemy z zasysanym i tłoczonym strumieniem powietrza;
- szacunkowy koszt zużycia energii większy niż dla mokrych wież chłodniczych;
- niski zrzut ciepła, tj. poniżej  $100 \text{ MW}_{\text{th}}$ ;
- liniowa zmiana temperatury medium chłodzonego blisko temperatury powietrza (suchego termometru) musi być zaakceptowana dla danego medium chłodzonego;
- na koszty eksploatacyjne składają się prawie całkowicie koszty energii elektrycznej;
- wpływ na środowisko wiąże się z emisją hałasu i zużyciem energii.



**Rys. 2.12 Schemat systemu chłodzenia suchym powietrzem**  
[Eurovent, 2000]



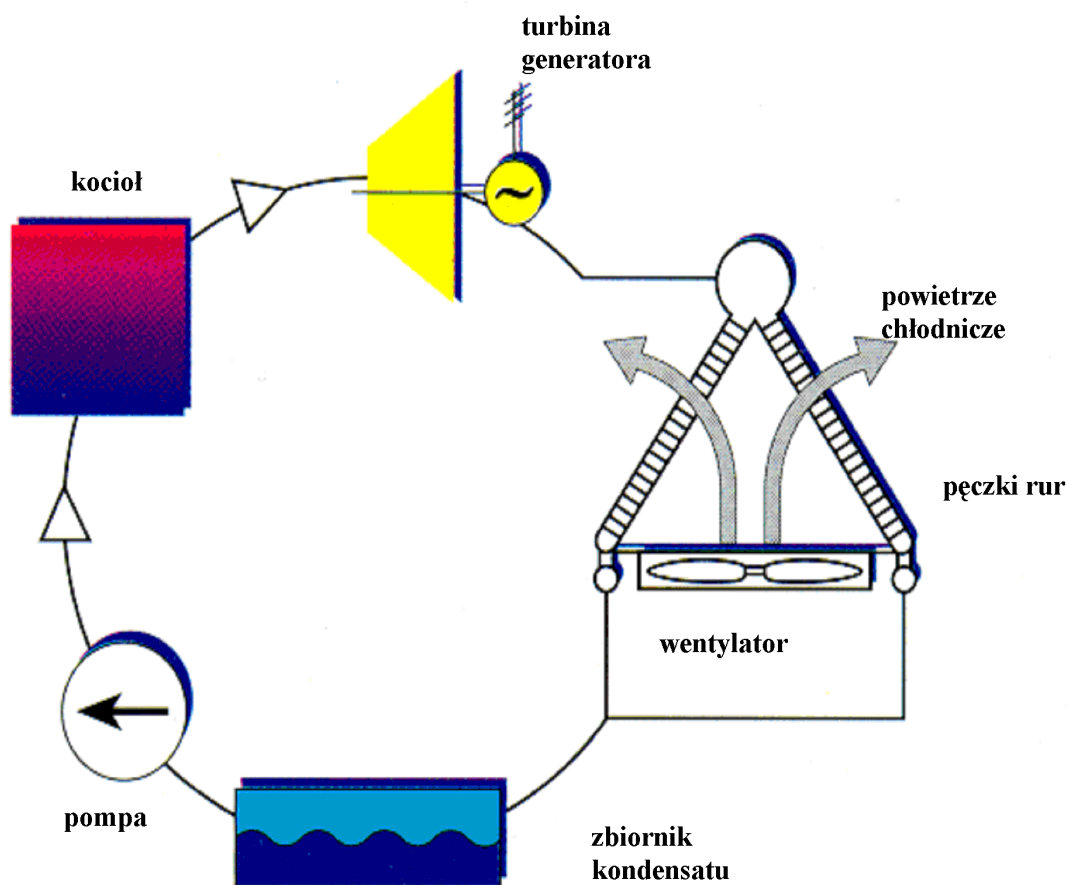
**Rys. 2.13 Przykład zastosowania systemu chłodzenia cieczy powietrzem w przemyśle chemicznym**  
[Archiwum Pers.]

### 2.5.1.3 Skraplacze chłodzone powietrzem

Skraplacze chłodzone powietrzem (patrz załącznik XII) są szeroko stosowane w przemyśle energetycznym i chemicznym do skraplania pary. Powietrze tłoczone przez wentylatory omywa rury wymiennika ciepła. Powietrze ochładza parę wpływającą do pęku rurek (patrz rysunek 2.14). W systemach pośrednich skraplacz jest chłodzony wodą, która jest z kolei chłodzona w wieżach chłodniczych z grawitacyjnym przepływem powietrza.

**Charakterystyka skraplaczy chłodzonych powietrzem:**

- zrzut ciepła w małych i dużych instalacjach,
- nie potrzeba wody chłodzącej,
- szacunkowy koszt bezpośredniego zapotrzebowania na energię jest wyższy niż dla skraplaczy chłodzonych wodą lub dla mokrych wież chłodniczych,
- cechuje je relatywnie niewielka wysokość,
- możliwość stosowania krótkich rurek,
- wymaga przestrzeni w bezpośredniej bliskości generatora pary,
- adaptacja do wahań wydajności i temperatur niezbędna przy szerokich zakresach stosowania, co wymaga regulowanej wydajności wentylatorów,
- wpływ na środowisko przez emisję hałasu i zużywaną energię elektryczną.



Rys. 2.14 Schemat układu ze skraplaczem chłodzonym powietrzem [Balcke Dürr, 2000].



**Rys. 2.15** Przykład skraplacza chłodzonego powietrzem do skraplania pary wylotowej z turbiny  
[tm111, BDAG, 1996]

### 2.5.2 Mokre systemy chłodzenia w obiegu zamkniętym

W systemach chłodzenia z obiegiem zamkniętym, medium chłodzone krąży w obiegu zamkniętym bez kontaktu z otoczeniem. Medium przepływa przez węzownicę (obieg pierwotny). Węzownice są zraszane z zewnątrz wodą (obieg wtórny lub z natryskiem). Ciepło na drodze przewodzenia jest przekazywane do wody zraszającej rury (jawna wymiana ciepła). Odparowanie małej ilości wody prowadzi do chłodzenia przez odparowanie i ciepło jest przekazywane od wody do powietrza. Dodatkowo istnieje także jawna wymiana ciepła pomiędzy powierzchnią rur a powietrzem. W praktyce w chłodzeniu przez odparowanie obok siebie występuje jawna i utajona wymiana ciepła. Woda zraszająca podlega uzdatnianiu, aby nie dopuścić do uszkodzenia urządzeń. Straty wody w wyniku odparowania i porywania kropli powodują wzrost stężenia substancji w niej przebywających, co skutkuje zapotrzebowaniem na wodę uzupełniającą.

#### **Wydajność chłodzenia**

Skuteczność wymiany ciepła jest mniejsza niż w układach otwartych ze względu na niższą wydajność wymiany ciepła węzownic. Większe wydajności od 150-400 kW<sub>th</sub> do 2,5 MW<sub>th</sub> mogą być osiągnięte dzięki łączeniu mniejszych jednostek. Zazwyczaj osiągnięta temperatura spiętrzenia wynosi 4K. Korzyść tkwi w niemożności zanieczyszczenia obiegu pierwotnego (dotyczy wszystkich systemów z obiegiem zamkniętym), co w niektórych przypadkach eliminuje potrzebę stosowania wewnętrznych wymienników ciepła. Należy rozważyć także zapotrzebowanie na energię do rozprowadzenia wody zraszającej w obiegu wtórnym. Przy chłodzeniu z obiegiem zamkniętym, możliwe do osiągnięcia temperatury końcowe to 25-30°C. Zależą one od warunków klimatycznych w miejscu pracy urządzeń [tm139, Eurovent, 1998].

Temperatury wody w warstewce pokrywającej powierzchnię wymiennika ciepła są do 5°C wyższe niż temperatura wody w strumieniu głównym, które mieszczą się w zakresie od 40 do 50°C, choć w praktyce mogą wystąpić temperatury rzędu 70-80°C.

### Aspekty środowiskowe

Jeśli w obiegu wtórnym systemu chłodzenia do zraszania rur używa się wody, to jest to woda demineralizowana lub woda pitna. Czas pracy wody w układzie może być do 6 miesięcy. Woda uzupełniająca jest potrzebna tylko w razie przecieku lub odparowania na uszczelnieniu pomp lub w trakcie strat związanych z reperacją urządzeń. Ze względu na małe zapotrzebowanie na wodę uzupełniającą, stosuje się tę o wysokiej jakości, co skutkuje brakiem problemów z osadami na powierzchniach rurek. Czasem jednak na powierzchniach zewnętrznych może się pojawić osad, co wymaga jego oczyszczenia [tm010, Betz, 1991]. W zależności od rozwiązania technicznego, sposobu eksploatacji i warunków klimatycznych, może się pojawić problem oparów unoszących się nad instalacją. Wodę można oszczędzać, w ten sposób, że wieża może być eksploatowana jako wieża sucha wtedy, gdy niska jest temperatura powietrza zewnętrznego. Problem może stanowić emisja hałasu spowodowana pracą wentylatora.

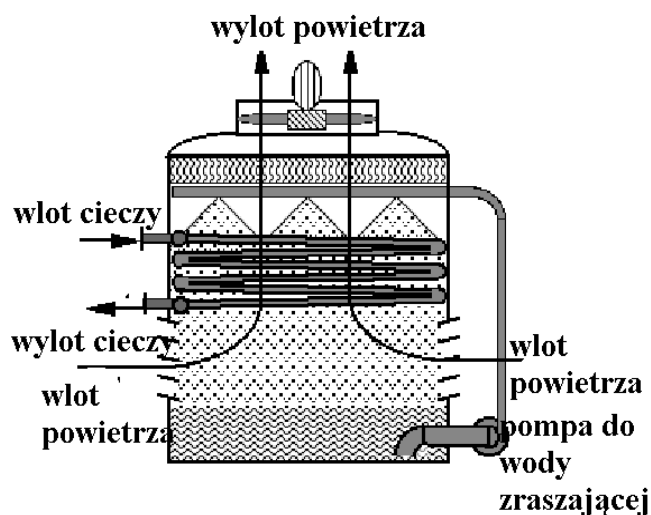
### Zastosowanie

Systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym są używane w wielu miejscach. Dobrze pasują do chłodzenia silników gazowych i sprężarek i dzięki nim można uzyskać dobrą metodę kontroli temperatury procesu [tm010, Betz, 1991]. Mogą być stosowane na dużą i małą skalę. Służą do chłodzenia cieczy (np. olejów smarnych, wody chłodzącej sprężarki), gazu (np. silniki Diesla, gazów procesowych) i skraplaczy (łączone obiegi, turbiny parowe). Jeśli medium procesowe w węzownicy lub w rurkach to para (gaz lub czynnik chłodniczy) kondensująca, system chłodzenia jest także nazywany skraplaczem wyparnym.

#### 2.5.2.1 Mokre systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym i wymuszonym przepływem powietrza.

Charakterystyka mokrych systemów chłodzenia z obiegiem zamkniętym i wymuszonym przepływem powietrza:

- zrzut ciepła od małych do dużych instalacji,
- mogą być osiągane niskie temperatury chłodzenia,
- zwarta budowa w porównaniu do urządzeń chłodzonych powietrzem,
- niskie wymagania energetyczne,
- zapotrzebowanie na wodę i obieg zraszania wodnego,
- możliwość uniknięcia powstawania oparów przez zastosowanie węzownicz zabezpieczających przed powstawaniem oparów i/lub sucha eksploatacja w zimę,
- aspekty środowiskowe, w szczególności uzdatnianie wody i przecieki.



Rys. 2.16 Schemat mokrej wieży chłodniczej z zasysaniem powietrza chłodzącego [Eurovent, 2000]

### 2.5.2.2 Skraplacze pary z odparowaniem

#### Charakterystyka skraplaczy pary z odparowaniem:

- zrzut ciepła w instalacjach średnich i dużych,
- niższe temperatury kondensacji niż w skraplaczach pary chłodzonych powietrzem,
- niskie zapotrzebowanie na energię,
- ogólnie wyższe niż skraplacze chłodzone powietrzem, ale o mniejszej powierzchni podstawy,
- do aspektów środowiskowych należy uzdatnianie wody i przecieki.

## 2.6 Połączone mokre/suche systemy chłodzenia

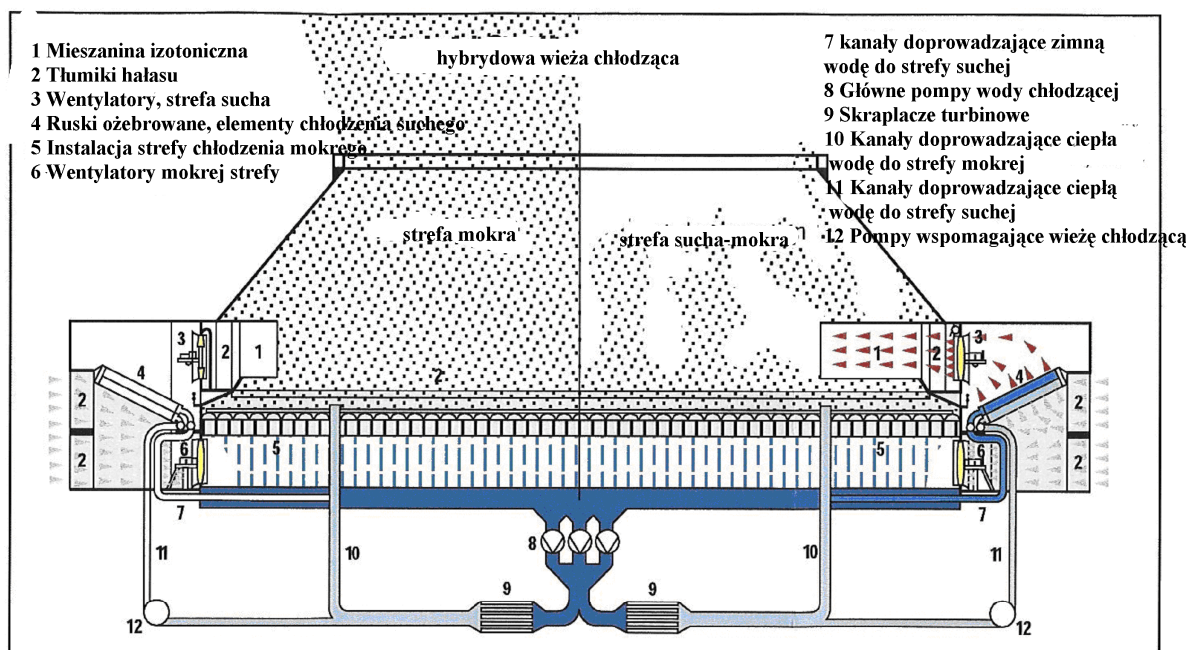
### 2.6.1 Otwarte mokre/suche (hybrydowe) wieże chłodnicze

#### Opis techniczny

Otwarta mokra/sucha (hybrydowa) wieża chłodnicza lub hybrydowa wieża chłodnicza ma specjalną konstrukcję, która była ulepszana w celu rozwiązania problemu zużycia wody chłodzącej i tworzenia się oparów. Jest to połączenie „mokrej” i „suchej” wieży chłodniczej lub, innymi słowy, procesu odparowania i nie-odparowania. Hybrydowa wieża chłodnicza może być eksploatowana wyłącznie jako mokra wieża chłodnicza lub jako połączona mokra/sucha wieża chłodnicza, w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego. Ogrzana woda chłodząca przechodzi przez pierwszą suchą część wieży chłodniczej, gdzie część ciepła jest odprowadzana przez strumień powietrza, który jest często zasysany przez wentylator. Po przejściu przez suchą sekcję, woda jest ochładzana w części mokrej wieży na zasadach podobnych jak w wieży otwartej z recyrkulacją. Ogrzane powietrze z części suchej jest mieszane z parą z części mokrej w górnym odcinku wieży, tam obniża swą wilgotność nim powietrze opuści wieżę chłodniczą, która (prawie) całkowicie redukuje powstawanie oparów ponad wieżą.

Optymalizacja pracy hybrydowej wieży chłodniczej polega na optymalizacji ilości wymienionego ciepła w strefie suchej wieży tak by sprostać wymogom ograniczania powstawania oparów. Jednocześnie w strefie mokrej odbywa się zasadnicze chłodzenie.





**Rys. 2.17 Schemat hybrydowej wieży chłodniczej (przykład stosowany w przemyśle energetycznym)**  
[Eurelectric, 1999]

#### **Charakterystyka otwartych hybrydowych wież chłodniczych:**

- dla wszystkich wydajności obciążenie podstawowe i częściowe
- medium chłodzącym jest jedynie woda
- woda uzupełniająca zasilająca wieżę chłodniczą wymagana przez większość czasu pracy
- charakterystyka temperaturowa taka sama jak w przypadku mokrych wież chłodniczych,
- redukcja ilości wody uzupełniającej
- regulacje odnośnie ochrony środowiska, np. redukcja całkowitej wysokości (ze względu na obecność wentylatorów) i unikanie powstawania oparów
- wyposażenie zabezpieczające przed hałasem wymuszone odpowiednimi przepisami.

Aby praca hybrydowej wieży chłodniczej była efektywna, wykorzystywanych jest wiele urządzeń pomocniczych:

- wentylatory o regulowanej prędkości obrotowej
- urządzenia zamykające wloty powietrza (takie jak żaluzje czy kłapy zasuwane)
- zawory na przepływie wody w suchej i mokrej strefie wieży
- systemy by-passów
- pompy wspomagające (w specjalnych typach konstrukcji)
- systemy do mieszania suchego i wilgotnego powietrza.

#### **Konstrukcja wieży hybrydowej**

Obecnie dostępne są hybrydowe wieże chłodnicze z wymuszonym przepływem powietrza. Hybrydowa wieża chłodnicza różni się konstrukcyjnie od mokrych otwartych wież chłodniczych tym, że ma suchą i mokrą sekcję a każda z nich jest wyposażona w oddzielny wlot powietrza i oddzielne wentylatory. Wieże hybrydowe mogą pracować w zespołach,

mogą być wielkie okrągłe wieże chłodnicze z tłoczonym przepływem powietrza lub wieże typu komórkowego z wentylatorami zasysającymi powietrze. Wypełnienie, system dystrybucji wody, odkraplanie i tłumienie hałasu to cechy wspólne dla obu konstrukcji wież chłodniczych.

Mokre/suche wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym są wyposażone w wewnętrzne systemy mieszające powietrze suche z wilgotnym. Proces ten może być kontrolowany automatycznie ze względu na obciążenie cieplne, przepływ wody, powietrze otoczenia i warunki tworzenia się oparów.

### **Wydajność chłodząca**

Mogą być budowane w zespołach, z powietrzem tłoczonym lub zasysanym i – na wielką skalę – jako wieże chłodnicze typu komórkowego z wydajnością zrzutu ciepła od  $< 1 \text{ MW}_{\text{th}}$  do  $2500 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

### **Aspekty środowiskowe**

Główną różnicą pomiędzy hybrydową a konwencjonalną wieżą chłodniczą jest jej stosunkowo niższe zużycie wody (wody uzupełniającej) w ilości do 20% mniej niż w mokrej wieży chłodniczej [tm132, Eurelectric, 1998].

W rezultacie roczne zużycie energii w hybrydowej wieży chłodniczej z ciągiem wymuszonym może być zredukowane do poziomu 1,1 do 1,5 razy niż dla porównywalnej mokrej wieży chłodniczej z ciągiem wymuszonym w warunkach nominalnych, przy zwiększonym podwójnie przepływie powietrza (strefa mokra i sucha). Mokre/suche wieże z grawitacyjnym przepływem powietrza są pod obserwacją.

### **Zastosowanie**

Decyzja o zainstalowaniu hybrydowej wieży chłodniczej jest podejmowana w świetle wymagań związanych z miejscem instalacji (ograniczenia, co do wysokości i redukcja powstawania oparów) i wiele tego typu wież ma zastosowanie w przemyśle energetycznym, szczególnie w Niemczech i w Zjednoczonym Królestwie WB i IP (w systemach skojarzonych). Użycie wieży jest ograniczone zakresem temperatur  $25\text{-}55^{\circ}\text{C}$ , ponieważ powyżej  $55^{\circ}\text{C}$  stwierdza się wydzielanie węgla sodu na rurach. Nie znaczy to, że wydzielanie takie nie występuje poniżej tej temperatury, dlatego nie należy traktować tego ograniczenia jako żelaznej zasady.

## **2.6.2 Hybrydowe systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym**

### **Opis techniczny**

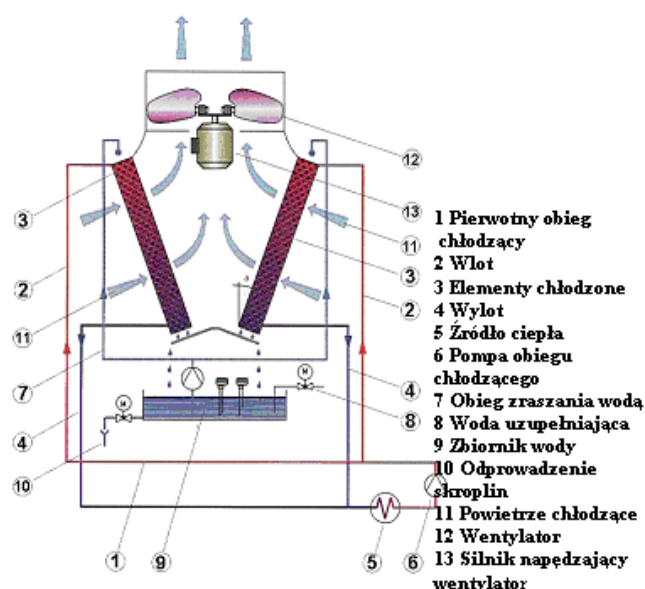
Dla systemów hybrydowych z obiegiem zamkniętym, charakterystyka może być podana w sposób podobny jak dla mokrych systemów chłodzenia z recyrkulacją uwzględniając (wentylatory osiowe i odśrodkowe), kierunek przepływu powietrza (krzyżowy lub w przeciwnym kierunku) i systemy ochrony przed hałasem (patrz paragraf 2.4). Ogólnie, jednostki te mają małe wymagania odnośnie miejsca. Eksploatacja hybrydowych systemów chłodzenia z obiegiem zamkniętym może być prowadzona na trzy sposoby: zraszanie ożebrowanych rurek, chłodzenie adiabaticzne lub układy łączone.

### **Aspekty środowiskowe**

Hybrydowe systemy chłodzenia z obiegiem zamkniętym łączą zalety obiegów zamkniętych z istotnymi oszczędnościami wody w porównaniu z konwencjonalnymi mokrymi wieżami chłodniczymi z obiegiem zamkniętym.

W porównaniu do suchych wież chłodniczych z obiegiem zamkniętym omawiane wieże oferują korzyści związane z niższymi temperaturami chłodzenia. Jeśli chodzi natomiast o wymiary geometryczne, zużycie energii i emisję hałasu mogą być porównane do konwencjonalnych mokrych wież chłodniczych z obiegiem zamkniętym. Zależnie od konstrukcji (zraszane żebrowane węzownice) powinno się zwrócić szczególną uwagę na jakość wody i jej uzdatnianie. Dodatkowe koszty mogą być nawet więcej niż zrównoważone przez znaczące oszczędności wody, gdyż takie produkty wymagają użycia wody tylko w czasie krótkich okresów w ciągu roku. Hybrydowe chłodnice z obiegiem zamkniętym również znacząco ograniczają, a, w niektórych rozwiązaniach, nawet eliminują tworzenie się oparów.

### 2.6.2.1 Zraszane (ożebrowane) węzownice



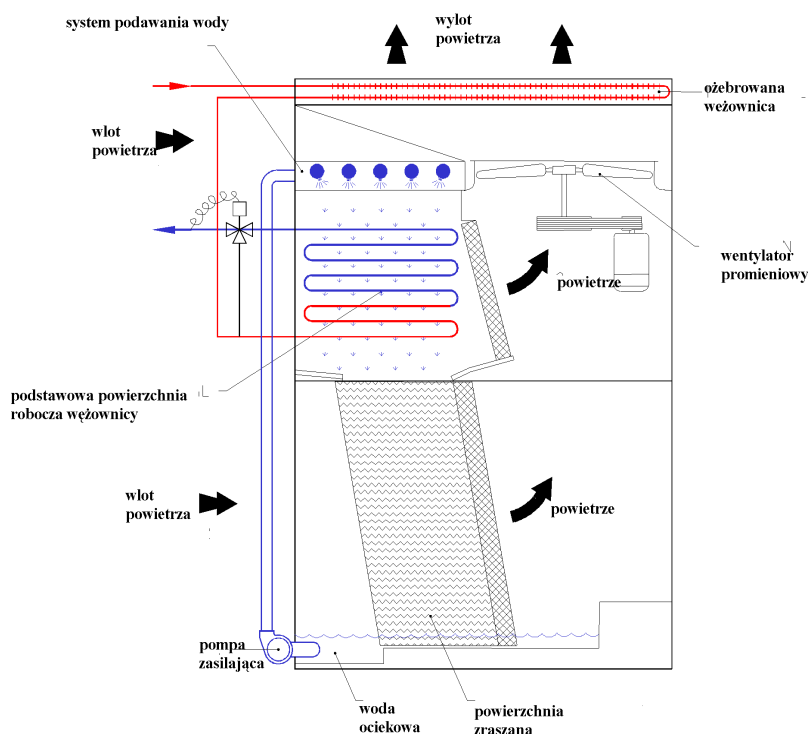
Rys. 2.18 Schemat prezentujący hybrydową wieżę chłodniczą z obiegiem zamkniętym

W wieży chłodniczej z obiegiem zamkniętym medium procesowe przepływa przez elementy chłodzące (pochylone rurki/ płyta lub ożebrowana węzownica) w obiegu zamkniętym, pierwotnym obiegu chłodzącym. Te elementy chłodzące są zraszane przez wtórny obieg wodny a jednocześnie omywane przez powietrze, co tworzy ciepło parowania. Woda chłodząca, która omywa elementy jest zbierana w zbiorniku i może być wielokrotnie zawracana do obiegu, czasem przy wykorzystaniu innej wieży chłodniczej lub po zrzucie wody (patrz rysunek 2.19). W układzie pośrednim, medium, które przepływa w obiegu pierwotnym, nie jest medium procesowym, ale innym chłodziwem, które z kolei chłodzi medium procesowe w drugim wymienniku ciepła.

### 2.6.2.2 Chłodnice adiabatyczne, zraszanie i wstępne ochładzanie powietrza, które chłodzi węzownice

W chłodnicy adiabatycznej ciecz chłodzona omija pierwotną powierzchnię węzownicy. Woda chłodząca sączy się w dół po mokrym pokładzie a powietrze przepływa przez pokład i nawilża się maksymalnie. Tak nawilżone powietrze obmywa ożebrowane węzownice i odbiera znacznie więcej ciepła niż zdolne jest odebrać powietrze suche. W porównaniu do

konwencjonalnych urządzeń natryskowo-wyparnych, zmniejszone jest zapotrzebowanie na wodę (patrz rysunek 2.19)



**Rys. 2.19** Łączony sposób eksploatacji hybrydowego układu chłodzenia [tm151, BAC, 1999].

### 2.6.2.3 Technologia połączona

W technologii połączonej ożebrowane węzownice, zraszana pierwotna powierzchnia węzownicy i mokry pokład są używane jednocześnie. Istnieje wtedy możliwość zamknięcia całej ilości wody zraszającej w układzie suchym i poprowadzenia medium chłodzonego przez ożebrowane węzownice i pierwotną powierzchnię węzownic, które są obie chłodzone tylko suchym powietrzem. W wersji mokrej/suchej medium po przejściu przez suche węzownice przechodzi przez zraszającą powierzchnię węzownicy pierwotnej przed powrotem do instalacji jako medium schłodzone. Ogrzana woda pomалу spływa na dół z pierwotnej węzownicy i spada na powierzchnię mokrego pokładu. Powietrze przepływa przez węzownicę pierwotną i przez pokład, gdzie jest nasycane wilgocią i odbiera ciepło. W trakcie opływu ożebrowanych węzownic, unosi większą ilość ciepła (patrz także rysunek 2.19).

### 2.6.2.4 Koszty systemów hybrydowych

Przy zastosowaniach systemów hybrydowych zawsze bierze się pod uwagę koszty inwestycji i eksploatacji. Ogólnie systemy hybrydowe wymagają większych nakładów inwestycyjnych. Koszty zapobiegania tworzeniu się oparów różnią się w zależności od systemu chłodzenia. W porównaniu do wieży chłodniczej o tej samej charakterystyce, Fluor [1995] obliczył, że dla instalacji otwartej mokrej wieży chłodniczej o wydajności 300 MW koszt instalacji jest ponad 2,5 razy wyższy od kosztów wież bez zabezpieczenia przed powstawaniem oparów. Dla mokrych wież chłodniczych z obiegiem zamkniętym, koszty wież z zabezpieczeniem przed

oparami są 1,5 – 2 razy takie jak dla wież bez zabezpieczenia (Eurovent). Koszty muszą być regulowane przez oszczędności czynione na poborze wody i elastycznej eksploatacji. Roczny koszt wody, włącznie z uzdatnianiem, i elektryczności mogą stanowić w niektórych przypadkach około 10% rocznych kosztów związanych z wieżą chłodniczą. Te względy ekonomiczne zależą oczywiście od indywidualnego zastosowania i cen wody oraz energii [tm139, Eurovent, 1998].

Koszty wskazywane przez sektor energetyczny pokazują dla hybrydowych wież chłodniczych z ciągiem wymuszonym poziom cenowy od 40000 do 70000 € na 1 MW<sub>th</sub>. W sektorze tym oznacza to, że poziom kosztów instalacji jest 1,3-1,6 razy taki jak wież o podobnej wydajności bez zabezpieczenia przed oparami.

## 2.7 Systemy chłodzenia z recyrkulacją

Opisy głównych układów podane powyżej wyjaśniają zasady chłodzenia i różne rozwiązania konstrukcyjne, które są stosowane w przemyśle, zależnie od wymagań procesowych, miejsca i środowiska naturalnego. Na wstępie wyjaśniono kilka kluczowych definicji jak też różnic pomiędzy chłodzeniem suchym a wyparnym oraz w opisach systemów pokazano różnice pomiędzy systemami otwartymi i zamkniętymi. Natomiast kryteria stosowane wobec systemów bezpośrednich i pośrednich mogą doprowadzić do nieporozumień, jeśli nie są definiowane w kontekście systemów chłodzenia z recyrkulacją.

### 2.7.1 Bezpośrednie systemy chłodzenia z recyrkulacją

Jak zaznaczono wcześniej, w bezpośrednich systemach chłodzenia istnieje tylko jeden wymiennik ciepła, w którym chłodziwo i medium procesowe wymieniają ciepło między sobą i w którym chłodziwo (woda lub powietrze) jest w kontakcie z otoczeniem. Przecieki przez ścianki pomiędzy medium procesowym a chłodziwem (powietrze lub woda) mogą oznaczać, że medium procesowe przedostaje się do otoczenia lub, w warunkach próżniowych (skraplacze), proces ulega skażeniu. Dlatego też, pomimo, że chłodzenie chłodziwa, które przebiega w wieży chłodniczej też jest procesem wymiany ciepła, system ten pozostaje systemem bezpośrednim.

Dlatego przykładem systemu bezpośredniego jest obieg wodny skraplacza chłodzonego wodą w otwartej wieży chłodniczej (pomimo że, jak wspomniano, częściej proces może ulec skażeniu niż nastąpi przeciek chłodziwa).

### 2.7.2 Pośrednie systemy chłodzenia z recyrkulacją

Głównym elementem definiującym system pośredni mogłoby być to, że przeciek w trakcie procesu nie powoduje zanieczyszczenia chłodziwa, które jest w otwartym kontakcie z otoczeniem. Oznacza to chłodzenie na dwóch poziomach.

W przypadku otwartej wieży chłodniczej z recyrkulacją, woda opuszczająca wieżę wymienia ciepło w wymienniku ciepła z wodą, która jest w obiegu zamkniętym. Woda w obiegu zamkniętym opuszcza ten wymiennik ciepła, by wejść na następny, gdzie wymienia ciepło z medium procesowym.

W zamkniętych wieżach chłodniczych z recyrkulacją istnieje ta sama zasada pracy, a węzownice lub rurki są wypełnione wodą która jest ochładzana przez wodę i/lub powietrze.



Ochłodzona woda wchodzi na wymiennik ciepła lub skraplacz z medium procesowym, w którym ma zajść wymiana ciepła.

Tam gdzie zamknięte systemy chłodzenia z recyrkulacją pracują w zimę i potrzebują zabezpieczenia przed zamarzaniem, obieg zamknięty zazwyczaj zawiera nie tylko wodę, ale także czynnik chłodniczy lub wodę zmieszaną ze środkiem zapobiegającym zamrażaniu. Faktem jest, że te systemy mogą znów być klasyfikowane jako systemy bezpośrednie, jako że czynnik chłodniczy może zanieczyścić medium chłodzące, które jest w bezpośrednim kontakcie z otoczeniem.

## 2.8 Koszty systemów chłodzenia

Dla każdego układu wskazano orientacyjny koszt instalacji, ale obliczenia kosztów systemów chłodzenia znacznie się różnią. Wniosek jest taki, że różnice w kosztach pomiędzy różnymi systemami chłodzenia niekoniecznie umożliwiają wskazanie najtańszego wariantu. Z różnych czynników, które ostatecznie wpływają na koszty, najważniejsze są wymagania użytkownika i wymogi prawne. Z tego powodu dla każdego z przypadków indywidualnie szacuje się możliwość zbudowania lub zastosowania danej techniki. Zawsze muszą zostać wzięte pod uwagę ceny energii. Będą one ważne, w tych przypadkach, w których rozważany jest odzysk ciepła.

Ważnym elementem przy szacowaniu kosztów systemu chłodzenia i możliwych innowacji technicznych jest porównanie różnych kosztów początkowych dla danych systemów lub przez oszacowanie kosztów rocznej eksploatacji systemu. W praktyce wysokie koszty inwestycyjne mogą prowadzić do mniejszych kosztów na konserwacje i naprawy, ale jednocześnie do wyższych rocznych kosztów eksploatacyjnych, które mogą być przeszkodą przy takiej inwestycji. Dla celów porównania, koszty muszą też być widziane przez pryzmat wydajności cieplnej systemu (rzęd  $kW_{th}$  czy  $MW_{th}$ ).

Dla zastosowań przemysłowych (nie elektrownie) [tm001, Bloemkolk, 1997] zestawiono czynniki wpływające na koszty instalacji zarówno dla systemów chłodzonych wodą jak i powietrzem, oszacowano całkowite koszty i porównano je dla różnych systemów. Zagadnienia te są wyjaśnione poniżej a sformułowane wnioski są zebrane w załączniku X. Dla elektrowni stosuje się inny model, który wyjaśniono w załączniku XII.

### Zagadnienia

Generalnie następujące czynniki wpływają na koszty instalacji:

**Tabela 2.3 Rachunek kosztów dla systemów chłodzonych wodą i powietrzem [tm001, Bloemkolk, 1997]**

Typ kosztów	Elementy	Systemy chłodzone wodą	Systemy chłodzone powietrzem
<i>Stale</i>	Wymiennik(i) ciepła (typ, rozmiary i modle)	x	x
	Wymiennik ciepła (materiał)	x	x
	Armatura procesowa	x	x
	Pompy/pompy rezerwowe	x	x
	Podzespół wlotowy	x	
	Rura pobierająca	x	
	Podzespół wylotowy	x	



	Wieża(e) chłodnicza(e) (możliwe)	x	x
	Wentylatory	x	x
	Tłumiki hałasu	x	x
	System pośredni (dodatkowy wymiennik ciepła, armatura, pompy)	x	x
<b>Zmienne</b>	Woda (gruntowa, z wodociągu)	x	
	Opłaty za zrzut wody	x	
	Kontrola przecieków	x	x
	Uzdatnianie wody	x	
	Zużycie energii (pompy i wentylatory)	x	x
	Konserwacja	x	x

### Metodologia

Opracowano różne metody szacowania kosztów i porównania różnych systemów chłodzenia. Metoda używana tutaj jest pokrótce opisana w załączniku X.

### Porównanie

Porównanie powinno być zawsze czynione w oparciu o te same warunki eksploatacyjne i dla tych samych wydajności wyrażonych w  $MW_{th}$  ciepła odprowadzonego.

Obliczenia pokazują, że wrażliwość kosztów w dużym stopniu zależy od poziomu kosztów inwestycyjnych i zużycia energii. Ważne są różnice w kosztach wymienników ciepła (płaszczowo-rurowych) ze względu na wybrany układ i wybór materiału. Tanie materiały i modele określają niskie granice cenowe. Materiały specjalne określają wyższy poziom cenowy. Nie należy zapominać tu, że dobre materiały mogą znacznie obniżyć koszty konserwacji i napraw oraz eksploatacji i użycia związków chemicznych.

Obliczane koszty roczne, inwestycyjne i koszty eksploatacyjne znacznie się różnią. Nie wpływają na to czynniki takie jak ilość wody uzupełniającej i cena oraz zużycie energii. Wybór materiału ma również konsekwencje widoczne w kosztach rocznych eksploatacji. Tam gdzie stosowane są systemy chłodzenia z suchym powietrzem, ważna jest możliwa do osiągnięcia temperatura końcowa, a im niższa wymagana temperatura końcowa, tym system chłodzenia powietrzem staje się droższy. Przy chłodzeniu wodnym niska temperatura końcowa jest mniej istotna dla szacowania kosztów, chyba że przyjęto w obliczeniach małe temperatury spiętrzenia.

Tabela 10.2 w załączniku X pokazuje zakresy kosztów różnych wielkich przemysłowych układów chłodzenia. Na podstawie danych zastosowanych w tej metodzie koszty eksploatacyjne otwartej mokrej wieży chłodniczej okazały się być większe niż przy chłodzeniu powietrzem. Z drugiej strony, koszty inwestycyjne dla chłodzenia powietrznego były generalnie wyższe niż dla innych systemów. Dalej sugeruje się, że szczególnie w przypadku systemów chłodzonych wodą, wyższe koszty inwestycyjne mogą oznaczać niższe koszty eksploatacyjne (konserwacja i naprawy, uzdatnianie).

Na podstawie powyższych danych można wnioskować, że różnice w kosztach pomiędzy różnymi systemami niekoniecznie wskazują drogi wariant. Zależy to od wymagań użytkowników i wymagań prawnych odnośnie dozwolonych poziomów emisji. Z tego powodu szacunki odnośnie najbardziej pożądanym elementom powinny być wykonane dla każdego przypadku indywidualnie. Powyższe dane, które mogą być potraktowane jako wstępne, są przedstawione w załączniku X.

### 3 ASPEKTY ŚRODOWISKOWE PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW CHŁODZENIA I STOSOWANE TECHNIKI ZAPOBIEGANIA ORAZ REDUKCJI

#### 3.1 Wstęp

Aspekty środowiskowe przemysłowych systemów chłodzenia są różne dla różnych układów przedstawionych w rozdziale 2. Do zagadnień środowiskowych dotyczących systemów chłodzenia należą: bezpośrednie i pośrednie zużycie energii, emisja strumieni ciepła i substancji uzdatniających do wód powierzchniowych, powstawanie hałasu i oparów. Powyższe problemy środowiskowe (takie, jak hałas) w każdym przypadku powinny być rozważane w świetle ogólnych efektów środowiskowych łącznie z poziomami emisji osiąganymi w procesie przemysłowym, do którego ma być zastosowane chłodzenie. Nie wszystkie aspekty są jednakowo ważne dla każdego z systemów. Na przykład wymagania dotyczące wody lub tworzenia się oparów nie mają znaczenia w przypadku suchych systemów chłodzenia. Problemy, które potencjalnie mogą mieć znaczenie i które powinny być uwzględnione przez organ wydający pozwolenia przy rozważaniu przemysłowych systemów chłodzenia zostały scharakteryzowane jakościowo i zebrane w tabeli 3.1. Oczywiście tam gdzie przedsięwzięto już odpowiednie działania, problemy te mogą okazać się mniej istotne. Nie zostało to jednak uwzględnione w tabeli 3.1, ponieważ kwestia ta zostanie omówiona w następnych rozdziałach. Charakter i poziom emisji do środowiska zależą nie tylko od zastosowanych technik, ale w dużej mierze także od sposobu eksploatacji systemu i sposobu gospodarowania zasobami źródeł wykorzystywanych przy pracy systemów chłodzenia.

W rozdziale tym opisano aspekty środowiskowe i zagrożenia mikrobiologiczne (lub zagrożenia dla zdrowia), które prawdopodobnie będzie należało wziąć pod uwagę przy rozważaniu wniosków o przyznanie pozwolenia. Opisane zostały także zasady działania poszczególnych technik, które mogą być brane pod uwagę przy określaniu najlepszych dostępnych technik BAT. W wielu przypadkach system chłodzenia jest już istniejącą instalacją i oczywiste jest, że w przypadku takiego systemu możliwości unowocześnienia są ograniczone w porównaniu z nowopowstającymi systemami. Ogólnie rzecz biorąc, odpowiedni projekt procesu, jego konstrukcja i wybór odpowiedniej technologii chłodzenia mogą zredukować konsumpcję i zapobiec większości emisji do środowiska. W przypadkach indywidualnych, gdzie specyfika miejsca gra rolę nadrzędną, problemem staje się określenie priorytetów w zakresie tego, co powinno, a co może zostać zrobione.

W celu określenia najlepszych dostępnych technik BAT, „podejście” zgodne z tymi technikami zostało opisane oddzielnie dla każdego aspektu środowiskowego i każdej techniki przy uwzględnieniu potencjalnych skutków oddziaływania na środowisko. Ocena poszczególnych technik jest przeprowadzana zgodnie z ogólnym podejściem przedstawionym w rozdziale 1. Najważniejszą kwestią jest ograniczenie zapotrzebowania na chłodzenie oraz zmniejszenie emisji ciepła do środowiska. Następnie ma miejsce ocena poszczególnych rozwiązań w zakresie zmniejszenia zużycia zasobów, które zostały opracowane w celu zapobiegania lub redukcji emisji i które mogą ułatwić eksploatację systemów chłodzenia. Do rozwiązań takich należą:

1. zabezpieczenie sposobami technologicznymi
  - sposoby techniczne zintegrowane
  - zmiana układu
2. zabezpieczenie przez optymalizację eksploatacji systemów

### 3. zastosowanie technologii oczyszczania na wyjściu lub technik tradycyjnych.

Opisane zostały także wyniki oddziaływania na środowisko każdego z rozwiązań, a każda technologia została oceniona pod względem jej wpływu na całkowite zużycie energii. W pierwszej kolejności pokazano, w jaki sposób zmiany wprowadzane w procesach chłodzenia mogą wpływać na zużycie energii. Informacje o poszczególnych technikach wraz z ich charakterystykami zostały następnie przedstawione w załącznikach.

**Tabela 3.1: Problemy ochrony środowiska dla różnych przemysłowych systemów chłodzenia [tm001, Bloemkolk, 1997]**

System chłodzenia	Zużycie energii (bezpośrednie) (§ 3.2)	Jakość wody (§ 3.3) <sup>(1)</sup>	Wciąganie ryb <sup>(2)</sup> (§ 3.3)	Emisje do wód powierzchniowych		Emisje do powietrza (bezpośrednie) (§ 3.5)	Powstawanie oparów (§ 3.5)	Hałas (§ 3.6)	Zagrozenie		Substancje śladowe (§ 3.8)
				ciepło (§ 3.3)	dotatki (§ 3.4)				Przecieki (§ 3.7)	Ryzyko mikrobiologiczne (zdrowie) (§ 3.7)	
chłodzenie w systemie z jednorazowym przepływem (obieg bezpośredni)	niski	++	+	++	+(biocydy)	--	--	--	++	--/ Niski	+(6)
chłodzenie w systemie z jednorazowym przepływem (obieg pośredni)	niski	++	+	++	+(biocydy)	--	--	--	Niski	--/ Niski	+(6)
otwarta mokra wieża chłodnicza (obieg bezpośredni)	+	+	--	niski	+(3)	niski (przy oparach)	+	+	+	+	--/ Niski
otwarta mokra wieża chłodnicza (obieg pośredni)	+	+	--	niski	+(3)	niski (przy oparach)	+	+	Niski	+	+
otwarta sucha/mokra wieża chłodnicza	+	niski	--	niski	niski <sup>(3)</sup>	--	-- <sup>(5)</sup>	+	Niski	?	+
mokra wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	+	+	--	--	niski	niski <sup>(4)</sup> (przy oparach)	--	+	Niski	Niski	--/ Niski
sucha wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	++	--	--	--	--	--/ niski	--	++	Niski	--	--
sucha / mokra wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	+	niski	--	--	niski <sup>(3)</sup>	niski	--	Niski	Niski	Niski	--/ Niski

Uwagi:		1: rozdział w tekście
--	bez związku	2: mogą być wciągane też inne organizmy
niski	mało istotne	3: biocydy, substancje antyosadowe, substancje antykorozyjne
+	istotne	4: potencjalnie w przypadku przecieku
++	bardzo istotne	5: nie stanowi problemu w przypadku właściwej eksploatacji
		6: odpady w postaci szlamu z poboru wody i z odwęglania

## 3.2 Zużycie energii

Zapotrzebowanie na energię w przemysłowych systemach chłodzenia może być rozpatrywane jako pośrednie i bezpośrednie zużycie energii. Zużycie bezpośrednie dotyczy energii potrzebnej do eksploatacji systemu chłodzenia. Główne urządzenia zużywające energię to pompy i wentylatory. Im wyższe opory ruchu w przepływie powietrza lub wody, tym większe zapotrzebowanie na energię systemu chłodzenia.

Niewłaściwa eksploatacja systemu chłodzenia może pośrednio powodować zwiększone zapotrzebowanie na energię lub surowce procesu produkcyjnego. Aby właściwie ocenić zmiany wprowadzone do systemu chłodzenia, należy wziąć pod uwagę całkowity bilans systemu chłodzenia oraz procesu produkcyjnego.

### 3.2.1 Bezpośrednie zużycie energii

Energia w systemach chłodzenia jest potrzebna do napędu pomp wody chłodzącej i/lub do wytwarzania przepływu powietrza. Jest ona wyrażana w postaci zużycia energii właściwej jako  $kW_e$  na  $MW_{th}$  rozpraszanego ciepła. Zapotrzebowanie na energię właściwą może ulegać znacznym zmianom i zależy od konfiguracji stosowanego systemu chłodzenia (konstrukcja (temperatury spiętrzenia), ciśnienie na pompach) i czasu eksploatacji (cały rok, tylko w zimie lub tylko latem). Różnice będą powodowały także warunki lokalne, np. ten sam system chłodzenia wymaga większego nakładu energii w regionach o cieplejszym klimacie niż w regionach o klimacie chłodniejszym. W niektórych przypadkach energia jest wymagana także do przygotowania dodatków do uzdatniania wody. Głównymi urządzeniami, które zużywają energię w systemach chłodzenia są:

- pompy (używane we wszystkich systemach z wodą chłodzącą) do poboru wody oraz do zapewnienia obiegu wody chłodzącej w instalacji:
  - poziom zużycia energii jest zdeterminowany poziomem przepływu, ilością wody, która musi być przepompowywana, spadkami ciśnień w procesie (liczba wymienników ciepła, konstrukcja), miejscem, do którego woda jest dostarczana i do którego jest odprowadzana oraz rodzajem pompowanego medium (gaz, ciecz, ciało stałe);
  - systemy pośrednie posiadające dwa obiegi będą potrzebowały więcej pomp;
  - w przypadku wieży chłodniczej, gdzie wyższa jest wysokość podnoszenia, wymagana jest większa energia niż w przypadku systemów z jednorazowym przepływem;
- wentylatory są używane we wszystkich wieżach chłodniczych z wymuszonym obiegiem powietrza i mechanicznie chłodzonych skraplaczach:
  - poziom zużycia energii jest zdeterminowany przez liczbę, wielkość i typ wentylatorów, ilość i wysokość słupa powietrza,
  - ogólnie systemy suche, przy tej samej wydajności chłodzenia, potrzebują większej ilości powietrza niż systemy wyparne (mokre), chociaż niekoniecznie musi to powodować zwiększone zapotrzebowanie na energię.

### Zużycie energii na działania pomocnicze

Całościowe oszacowanie zapotrzebowania na energię systemów chłodzenia musi uwzględniać także eksploatację pomocniczego wyposażenia systemu chłodzenia. Jednakże niewiele danych zostało zebrane na ten temat. Za typowy przykład takich działań pomocniczych uznaje się wytwarzanie w miejscu pracy systemu chłodzenia substancji chemicznych stosowanych do uzdatniania wody, np. ozonu, przy czym produkcja 1 kg ozonu stosowanego jako środka przeciwko osadom wymaga, w zależności od wydajności ozonu, od 7 do 20 kWh energii.



Możliwe jest oszacowanie zużycia energii przy minimalnym stężeniu w punkcie dodawania ozonu do wody w zakresie od 0,5 do 1 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> i określonej objętości wody chłodzącej.

### 3.2.2 Pośrednie zużycie energii

Rozpatrywane zapotrzebowanie na energię w procesie produkcyjnym odnosi się także do pośredniego zapotrzebowania na energię wynikającego z procesu chłodzenia. Zużycie energii rośnie w przypadku nieefektywnego chłodzenia. Niski poziom wymiany ciepła (np. ze względu na osady) będzie podnosił temperaturę po stronie procesu. W ten sposób potrzeba będzie więcej energii, która będzie musiała być generowana po stronie wlotowej lub wylotowej. Nieefektywność chłodzenia prowadzi do strat produktu i zmniejszenia sprawności procesu.

W paragrafach 1.2.1 i 1.4.3 omówione zostały zastosowania wrażliwe na temperaturę. Z powodu ograniczonego chłodzenia w skraplaczu całkowita wymiana energii może być zredukowana o 0,25%, co odpowiada zmniejszeniu sprawności o 0,4% na jeden stopień Celsjusza. Jeśli zamiast systemu z jednorazowym przepływem zastosowano moką otwartą wieżę chłodniczą, powodując tym samym wzrost temperatury końcowej np. o 5°C, to produkcja energii elektrycznej będzie mniejsza maksymalnie o 2%. Jeżeli wziąć pod uwagę różnicę w poborze energii przez układ pompowy wieży chłodniczej (która waha się w granicach 6-8 kW<sub>e</sub> na MW<sub>th</sub> mocy chłodzenia), spadek sprawności byłby większy o dodatkowy jeden procent. W przypadku konwencjonalnej elektrowni opalanej węglem zmiana o 1% będzie oznaczała spadek sprawności z 40% do 39,6%.

Ocena wpływu chłodzenia na środowisko powinna uwzględniać ocenę zużycia energii pośredniej. Wpływ zmiany zużycia energii pośredniej na całkowite zapotrzebowanie na energię może być określony przez wzrost temperatury po stronie procesu ze względu na chłodzenie bliskie optymalnemu. Dokonano obliczeń i porównano główne systemy chłodzenia [tm059, Paping, 1995]. Dane w tabeli 3.2 przedstawiają bezpośrednie i pośrednie zużycie energii oraz emisję CO<sub>2</sub> dla każdego z systemów. Te trzy zmienne uważa się za funkcje liniowe następujących parametrów projektowych:

- strumień wody chłodzącej,
- ciśnienie pompowania,
- sprawność pompowania (odwrotnie proporcjonalna).

W tym przykładzie dane zostały określone dla systemu z jednorazowym przepływem jako systemu odniesienia dla każdego z rodzajów chłodzenia. System z jednorazowym przepływem ma wydajność 100 m<sup>3</sup>/h na MW<sub>th</sub> (lub 8,6°C na MW<sub>th</sub>) i wymaga ciśnienia 3 bar do pompowania wody na wymaganą wysokość. Zapotrzebowanie na energię wynosi ok. 10 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>/rok ze sprawnością pompowania 75%. Dla systemów pośrednich z jednorazowym przepływem pojawia się spadek ciśnienia, który musi być rekompensowany przez wytworzenie dodatkowego 4,5 bara, co odpowiada zapotrzebowaniu na moc w wysokości 15 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>. System z wieżą chłodniczą wymaga dodatkowej energii na podniesienie strumienia wody na wysokość ponad 8 m i dodatkowo około 7 metrów słupa wody ponad dyszami. W porównaniu z systemem chłodzenia z jednorazowym przepływem wymaga to dodatkowo 4,5 bara i 15 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>.

Zapotrzebowanie wentylatorów na energię wynosi 15 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>. Jeśli są one eksploatowane tylko w lecie (4 miesiące), średnie zapotrzebowanie na energię wynosi 5 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>.

W tej samej tabeli wyrażono energię pośrednią jako funkcję wzrostu temperatury wlotowej wody chłodzącej. Wzrost ten spowoduje wzrost temperatury po stronie procesu.

Współczynnik określający ten wzrost jest obliczony jako  $1,4 \text{ kW}_e/\text{MW}_{\text{th}}^\circ\text{C}$  (patrz załącznik II). Oznacza to, że na 1 stopień przyrostu temperatury po stronie procesu współczynnik wzrostu zapotrzebowania na energię wynosi 1,4.

Znając całkowite zapotrzebowanie na energię dla każdego układu chłodzenia możliwe jest wyrażenie tego zapotrzebowania w poziomie emisji  $\text{CO}_2$  na  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Można w ten sposób oszacować energię potrzebną w procesie wytwarzania energii elektrycznej do pracy systemu chłodzenia. Przy założeniu 40% sprawności wytwarzania energii elektrycznej każdy  $\text{kW}_e$  wprowadzony na potrzeby eksploatacji systemu chłodzenia musi być pomnożony 2,5 raza, co wyraża energię potrzebną do odprowadzenia energii odpadowej (=chłodzenie), lub  $\text{kW}_e$  na  $\text{kW}_e$  (w ‰). Na każdy ‰ emitowana jest pewna ilość  $\text{CO}_2$ . Zakłada się, że średnio na rok (przy ciągłej eksploatacji) i na  $1 \text{ MW}_e$  emisja  $\text{CO}_2$  wynosi 2000 (1500-2500) ton lub 2 tony  $\text{CO}_2/\text{‰}$ . (Liczby tę otrzymano podczas pomiaru emisji w Danii i zależy ona od stosowanej mieszanki paliwowej).

Dane przedstawione w tabeli 3.2 mieszczą się w zakresie relatywnych wartości zużytej energii obliczonych ogólnie podczas porównywania różnych systemów chłodzenia o podobnych wydajnościach. Dane te nie są dokładne i nie powinny być traktowane jako takie. Nie sugeruje się tu również, czy któryś z systemów jest lepszy lub gorszy. Tabela pokazuje jednak jasno, że skutki spadku sprawności chłodzenia są znaczne oraz że możliwe jest porównanie konsekwencji spadku sprawności dla całkowitego bilansu energetycznego. Tabela ta pokazuje także, że przy eksploatacji systemu chłodzenia należy uwzględnić zarówno zużycia energii bezpośredniej, jak i pośredniej.

**Tabela 3.2: Przykładowe zestawienie zapotrzebowania na bezpośrednią i pośrednią energię właściwą w różnych systemach chłodzenia oraz jego wpływ na emisje CO<sub>2</sub> na MW<sub>th</sub> [tm059, Paping, 1995]**

System chłodzenia	Zużycie energii właściwej bezpośredniej (kW <sub>e</sub> /MW <sub>th</sub> )			Podwyższona temperatura pompy (°C)	Zużycie właściwej energii pośredniej (kW <sub>e</sub> /MW <sub>th</sub> )	Całkowite zużycie energii (kW <sub>e</sub> /MW <sub>th</sub> )	E <sub>wejściowa</sub> na E <sub>odprowadzana</sub> (w %)	CO <sub>2</sub> (ton/rok/MW <sub>th</sub> )
	Pompy	Wentylatory	Ogółem					
jednorazowy -bezpośredni	10 (9-12)	-	<b>10</b>	0	0	<b>10</b>	25	<b>50</b>
-pośredni	15 (12-18)	-	<b>15</b>	5	7	<b>22</b>	55	<b>110</b>
otwarte mokre wieże chłodnicze	15 (13-17)	5	<b>20</b>	5	7	<b>27</b>	68	<b>136</b>
chłodzenie hybrydowe	15 (13-17)	8	<b>23</b>	5	7	<b>30</b>	75	<b>150</b>
wieża chłodnicza z obwodem zamkniętym	>15 (13-17)	8	<b>&gt;23</b>	8	11	<b>&gt;34</b>	>85	<b>&gt;170</b>
chłodzenie suchym powietrzem	-	20	<b>20</b>	20	28	<b>48</b>	120	<b>240</b>
<sup>1)</sup> sposób obliczania współczynnika poprawkowego: patrz załącznik II								

### 3.2.3 Redukcja zapotrzebowania na energię do chłodzenia

Redukcja zapotrzebowania na energię w systemach chłodzenia jest sprawą uwzględnianą w bilansie środowiskowym. Należy wspomnieć raz jeszcze, że zintegrowane techniki w ramach procesów przemysłowych służące do ponownego wykorzystania ciepła odpadowego będą obniżały potrzebę odprowadzania nadmiaru ciepła do otoczenia. Jeśli wymagane są mniejsze wydajności chłodzenia, potrzebna jest mniejsza energia do eksploatacji systemu chłodzenia zarówno w sensie ogólnym, jak i w kategoriach bezwzględnych. Dalsze redukcje mogą wynikać z zastosowania bardziej sprawnych urządzeń i z odpowiedniej eksploatacji systemu chłodzenia niedopuszczającej do wzrostu temperatury po stronie procesu.

Odpowiedni wybór materiału i właściwa konstrukcja pozwalają zmniejszyć zapotrzebowanie na moc potrzebną do pracy systemu chłodzenia. Jest to bardzo skomplikowany problem obejmujący wiele czynników, w przypadku którego trudno jest udzielać ogólne rady. Należy wziąć pod uwagę następujące, obecnie stosowane praktyki:

1. właściwy układ systemu chłodzenia, tj. gładkie powierzchnie i jak najmniej zmian kierunku przepływu danego medium pomogą uniknąć turbulencji i zmniejszyć opory przepływu czynnika chłodzącego;
2. możliwymi metodami obniżenia zużycia energii w wieżach chłodniczych z mechanicznym wymuszeniem przepływu powietrza są wybór typu i położenia wentylatorów oraz możliwość regulacji przepływów powietrza;
3. wybór odpowiedniego wypełnienia (w świetle warunków eksploatacyjnych) dla zapewnienia ciągłej maksymalnej wymiany ciepła;
4. wybór odkraplaczy z minimalnymi oporami przepływu.

Obniżenie zapotrzebowania na energię poprzez zmiany w konstrukcji i materiale nie wydaje się być uzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia w przypadku istniejących systemów, zwłaszcza tych wielkich. W pewnych przypadkach dobrym rozwiązaniem jest wymiana urządzeń peryferyjnych w wieżach chłodniczych (wentylatorów, wypełnienia i odkraplaczy). W mniejszych systemach, takich jak otwarte i zamknięte mokre systemy chłodzenia z recyrkulacją, które są dostępne na rynku jako produkty gotowe, zmiana systemu chłodzenia jest technicznie dużo prostsza.

Dobrym przykładem ilustrującym wpływ konstrukcji na pracę systemu chłodzenia w elektrowni nuklearnej jest zastosowanie gładkich (żebrowanych) słupów podtrzymujących konstrukcję na wlocie wielkiej wieży chłodniczej (178 m). Budowa taka podwyższyła przepływ powietrza i zmniejszyła spadek ciśnienia umożliwiając większe chłodzenie (o 0,3°C), przy czym dla tej instalacji chłodzenie zwiększone o 1°C oznacza oszczędności na poziomie 250000 € w skali roku.

Bardzo mało jest sprawozdań na temat możliwości redukcji ilości energii w wieży chłodniczej dzięki bardziej wydajnym energetycznie wentylatorom lub bardziej elastycznej eksploatacji systemu. W informacjach dostarczonych przez dostawcę można znaleźć dane dotyczące typów wentylatorów i ich zapotrzebowania na moc. Dostępne są wentylatory o regulowanej szybkości obrotowej [tm97, Immell, 1996] lub doradza się użytkownikom, by stosowali systemy wielowentylatorowe w celu uzyskania lepszej elastyczności w regulowaniu ilości przepływającego powietrza.

Jeśli chodzi o wpływ odkraplaczy na działanie wentylatorów z powodu spadku ciśnienia autorzy opracowań [tm092, Becker and Burdick, 1994] doszli do wniosku, że będą występować różnice pomiędzy różnymi konstrukcjami odkraplaczy oraz że różnice we wpływie na działanie wentylatorów muszą zostać dokładnie rozpatrzone w kontekście całego procesu produkcyjnego. Oznacza to, że musi zostać przeprowadzona kompleksowa ocena pracy układu uwzględniająca konfigurację wieży chłodniczej oraz rozkład przepływów przez wentylatory i odkraplacze. Pomoże to w opracowaniu praktycznego porównania różnych konstrukcji wentylatorów.

Przykłady zmiany wypełnienia wieży wskazują na znaczny wzrost sprawności wymiany ciepła, obniżenie temperatury wody chłodzącej opuszczającej wieżę i uzyskanie lepszego chłodzenia. [tm034, Hobson et al., 1995], [tm041, Burger, 1994], [tm117, Remberg and Fehndrich, 1993].

Usprawnienie wymiany ciepła poprzez zastosowanie lepszego wypełnienia pozwoli na usprawnienie procesu chłodzenia w wymienniku ciepła. Pozwoli to także na zmniejszoną pracę wentylatora przy tym samym poziomie chłodzenia, jaki osiągano przed modyfikacją. Przy niezmiennym poziomie działania wentylatora wydajność chłodnicza będzie większa. Stosując złą konfigurację wypełnienia można wytworzyć niepożądany opór dla przepływającego powietrza, choć istotną rolę odgrywa w tym przypadku także geometria wieży. Gęste upakowanie wypełnienia tworzy duże spadki ciśnień i zazwyczaj wymagana jest wtedy większa energia do napędu wentylatora. Wypełnienie rozbryzgowe powoduje niższe spadki ciśnienia, ale ze względu na swoją małą sprawność wypełnienie to wymaga większych wież lub więcej jednostek, a spadki ciśnienia nie mogą być kompensowane przez wyższą energię wejściową do pracy wentylatora.

Z doświadczenia wynika, że czyszczenie wypełnienia i konserwacja wieży chłodniczej mają wpływ na zmniejszenie zapotrzebowania na energię do eksploatacji systemu chłodzenia. W przypadku systemów chłodzonych wodą oznacza to właściwą obsługę systemu ukierunkowaną na zmniejszenie oporów przepływu spowodowanych osadami, korozją, bioosadem itd. Przeglądy systemów pozwolą na utrzymanie gładkości powierzchni w wymiennikach ciepła, kanałach przepływowych i na wypełnieniu wieży. Dzięki temu możliwe będzie uniknięcie oporów przepływu wody, zmniejszenie wymaganej wydajności pompowania i podwyższenie wydajności wymiany ciepła. Właściwe uzdatnianie wody chłodzącej (patrz rozdział 3.4) oraz zbilansowane stosowanie uzdatniaczy w stosunku do wzrostu temperatury cieczy procesowej obniża zużycie energii bezpośredniej oraz pośredniej. W dostarczonych sprawozdaniach nie stwierdzono zmniejszenia zapotrzebowania na energię (w  $\text{kW}_e$  na  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  ciepła odprowadzonego w systemie chłodzenia) wynikającego z ulepszonej eksploatacji systemów.

### **3.3 Zużycie i emisja wody chłodzącej**

#### **3.3.1 Zużycie wody**

##### **3.3.1.1 Pobór wody i wymagania jakościowe**

Woda stanowi ważne medium w systemach chłodzenia, a szczególnie w wielkich systemach z jednorazowym przepływem, nie jest jednak istotna w przypadku suchych systemów chłodzonych powietrzem. Stosowana jest woda powierzchniowa, gruntowa i studzienna. W zasadzie do celów chłodniczych może być używana woda słona i woda pitna. Woda słona jest dostępna w dużych ilościach na wybrzeżach mórz i oceanów, ale jej wadą jest korozyjność. Oczekuje się zmniejszenia zużycia wody gruntowej do celów chłodniczych w nadchodzących latach, ponieważ

użycie wody gruntowej do celów prostych (takich jak chłodzenie) będzie coraz bardziej ograniczane prawnie, chyba, że będzie się wiązało z pozyskiwaniem wody gruntowej do innych celów, jak na przykład obniżanie poziomu wody związane z eksploatacją kopalń odkrywkowych oraz wody przepompowywanej w hydroelektrowniach. Mniejsza dostępność wody gruntowej może powodować wzrost zużycia wody powierzchniowej do celów chłodniczych.

Zużycie wody i konsumpcja wody to terminy określające zapotrzebowanie na wodę w systemach chłodzenia. Zużycie wody oznacza, że ta sama ilość wody, która została pobrana do chłodzenia jest z powrotem kierowana do źródła jej pochodzenia (jednorazowy przepływ). Konsumpcja wody oznacza, że tylko część wody pobranej do chłodzenia (zrzut z systemów z recyrkulacją) jest kierowana z powrotem do źródła, natomiast reszta odparowuje lub jest unoszona do atmosfery w trakcie procesu chłodzenia. Konsumpcja ma szczególnie duże znaczenie w przypadku stosowania do chłodzenia wody na terenach z możliwym jej niedostatkim.

Ilość użytkowanej wody jest w dużym stopniu związana z rodzajem gałęzi przemysłu. Różne źródła pokazują, że zużycie wody w Europie jest znaczne [Correia, 1995]. Ogólnie największe zapotrzebowanie na wodę (powierzchniową) jest w elektrowniach. Pozostała część wody jest wykorzystywana w kilku większych gałęziach przemysłowych, z których największym użytkownikiem jest przemysł chemiczny.

Zapotrzebowanie na wodę jest różne w zależności od zastosowanego systemu chłodzenia (tabela 3.3). W systemach z jednorazowym przepływem (bezpośrednich i pośrednich) zużycie wody zależy od:

- wymagań procesowych (skraplacz)
- temperatury wody pobieranej
- maksymalnego dopuszczalnego wzrostu temperatury dla wody odbierającej wodę odprowadzaną
- maksymalnej dopuszczalnej temperatury odprowadzanej wody

**Tabela 3.3: Zapotrzebowanie na wodę w różnych systemach chłodzenia [tm001, Bloemkolk, 1997]**

System chłodzenia	Średnie zużycie wody [m <sup>3</sup> /h/MW <sub>th</sub> ]	Zużycie procentowe [%] <sup>1</sup>
system z jednorazowym przepływem – bezpośredni	86	100
system z jednorazowym przepływem – pośredni	86	100
otwarte mokre wieże chłodnicze –bezpośredni	2	2,3
otwarte mokre wieże chłodnicze –pośredni	2	2,3
otwarte mokre/suche (hybrydowe) wieże	0,5	0,6
mokra wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	zmiennie	zmiennie
sucha powietrzna wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	0	0
mokra/sucha wieża chłodząca z obiegiem zamkniętym	1,5	1,7
<sup>1)</sup> założenie: wydajność chłodzenia $\Delta T$ 10 K otwarta mokra wieża chłodnicza: 2 i 4 obiegi otwarte mokre/suche chłodzenie: 75% działanie na sposób suchy mokra/sucha wieża z obiegiem zamkniętym działanie „na sucho” od 0 do 25 %		



W systemach otwartych z recyrkulacją, w zamkniętym obiegu mokrym i obiegu zamkniętym z suchymi/mokrymi wieżami chłodniczymi większość wody jest zawracana do systemu, a ciepło jest rozpraszane głównie dzięki odparowaniu. W systemach tych zużycie wody bardzo się różni i brak jest szczegółowych danych na ten temat, ponieważ wydajność zależy od stosowanego współczynnika koncentracji (regulowanego zamierzonym zrzutem wody), parowania i, w mniejszym stopniu, od temperatury otoczenia.

Suche wieże chłodnicze z obiegiem pośrednim mogą używać wody jako chłodziwa pośredniego, lecz to zużycie jest dużo niższe od tego w wodnych systemach chłodzenia. Normalnie, woda uzupełniająca jest potrzebna tylko w przypadku przecieku występującego np. przy uszczelnieniu pomp, na kołnierzach i zaworach lub przy stratach wody w przypadku reperatury systemu. Ilości te są niewielkie i ekonomicznie uzasadnione może być nawet użycie wody pitnej lub wody demineralizowanej.

### **Prawodawstwo**

W Państwach Członkowskich różne organy zajmują się wodą jako zasobem lub jako środowiskiem odbierającym różne strumienie masy. W każdym przypadku użycie wody powinno być uwzględnione w zintegrowanym systemie pozwoleń środowiskowych, szczególnie wtedy, kiedy dostępność wody jest ograniczona. Oczekuje się, że nacisk, jaki kładzie się w Europie na źródła wody o dobrej jakości, spowoduje większy nacisk na metody ochrony wód stosowane w systemach chłodzenia oraz na określenie limitów wykorzystania wody przy eksploatacji jej źródeł. W odniesieniu do zużycia wody najważniejszym aktem prawnym obowiązującym na poziomie europejskim jest dyrektywa ramowa dotycząca wody. Dyrektywa ta skupia się na jakości i ilości zasobów wód gruntowych zdefiniowanych w kategoriach wpływu poziomu wody gruntowej na powiązane ekosystemy oraz w kategoriach zrównoważonego użycia wody. Niektóre z Państw Członkowskich posiadają własne ustawodawstwo na poziomie krajowym dotyczące poboru i zużycia wody powierzchniowej.

### **Zagadnienia dotyczące skutków oddziaływania na środowisko**

Zagadnienie ograniczenia zużycia wody odnosi się do następujących aspektów środowiskowych:

- emisje ciepła do wód powierzchniowych,
- stosowanie dodatków w wodzie chłodzącej,
- konsumpcja energii przez system chłodzenia i proces produkcyjny,
- emisje pośrednie.

Każdy z powyższych czynników musi być wzięty pod uwagę przy ocenie, czy redukcja poboru wody do chłodzenia jest w danym przypadku najlepszym rozwiązaniem. W kolejnych paragrafach podjęto próbę opisu stosowanych technik redukcji i skutków ich oddziaływania na środowisko.

#### **3.3.1.2 Stosowane techniki redukcji konsumpcji wody**

Redukcja konsumpcji wody do chłodzenia jest szczególnie istotna tam, gdzie dostępność wody z przyczyn naturalnych lub ekologicznych jest ograniczona. Mogą to być rejony zagrożone suszą lub z niskimi opadami sezonowymi. Inne typowe przykłady to niebezpieczeństwo zniszczenia źródeł wody gruntowej oraz sytuacje, w których istnieją dość surowe wymagania dotyczące wody chłodzącej lub sytuacje, w których wymagane przepływy są zbliżone lub większe niż strumień wody niesiony przez rzekę a także miejsca, w których ograniczone są emisje ciepła do wody powierzchniowej.

## 1. Technologia chłodzenia

Przy redukcji ilości wody wymaganej do chłodzenia ważny jest wybór systemu. Jeśli budowana jest nowa instalacja sugeruje się, by rozważać chłodzenie powietrzem np. przez stosowanie otwartych wież chłodniczych. Dla dużych systemów wymagana wydajność chłodzenia może ograniczać wybór do chłodzenia suchym powietrzem, ponieważ systemy takie wymagają dużych powierzchni wymiany ciepła. W miarę możliwości należy zwrócić uwagę na zmianę całkowitej sprawności, wzrastające koszty eksploatacyjne ze względu na działanie wentylatorów i koszty zapobiegania hałasowi. Zastosowania suchych systemów chłodzenia prowadzi ogólnie rzecz biorąc do obniżenia sprawności procesu. W konsekwencji preferowane są mokre systemy chłodzenia. Jedynie w przypadku, gdy niemożliwa jest dostawa wody (także wody uzupełniającej), nieuniknione jest chłodzenie suche.

W przypadku istniejących systemów z jednorazowym przepływem stosowanie systemów z recyrkulacją (otwarte mokre wieże chłodnicze) daje możliwość zmniejszenia zapotrzebowania na wodę. Standardową techniką pozwalającą na zmniejszenie strat wody w wyniku odparowywania jest stosowanie odkraplaczy w wieżach. Ogólnie rzecz biorąc, zastosowanie systemów z recyrkulacją pociąga za sobą konieczność ochrony powierzchni wymiany ciepła przed korozją i osadzaniem się osadów. Z drugiej strony, stosowanie recyrkulacji wody chłodzącej powoduje zmniejszenie emisji ciepła do wód powierzchniowych.

## 2. Eksploatacja systemów

W mokrych systemach chłodzenia z recyrkulacją powszechnie stosowane jest zwiększanie współczynnika koncentracji przez zmniejszenie częstotliwości odprowadzania wody do otoczenia. Jest to tym łatwiejsze, im czystsza jest woda. Odpowiednia konserwacja otwartych mokrych wież chłodniczych pozwala natomiast zmniejszyć zanieczyszczenie wody chłodzącej i umożliwia zastosowanie większej liczby cykli obiegu, co w rezultacie prowadzi do zmniejszenia ilości zrzutu wody do środowiska.

Podwyższenie współczynnika koncentracji generalnie prowadzi do większego zapotrzebowania na związki chemiczne zapobiegające osadzaniu biologicznemu, które powodują zwiększenie stężenia soli w wodzie bez niebezpieczeństwa osadzania się ich na ściankach wymiennika. Dostępne jest wiele publikacji na temat programów uzdatniania wody prowadzonych w taki sposób, aby podnieść współczynnik koncentracji przy większej ilości cykli w celu obniżenia zapotrzebowania na wodę i zmniejszenia zrzutu wody do otoczenia [tm094, Alfano i Sherren, 1995]. Przy ustalaniu warunków pozwoleń należy zwrócić uwagę na potencjalny wzrost stężenia różnych składników w wodzie zrzutowej.

Krytyczny przegląd wyników maksymalizacji ilości obiegów wody w wieżach chłodniczych oraz opis związanych z nim problemów można znaleźć w opracowaniu [tm095, Cunningham, 1995]. Autorzy tego opracowania doszli do wniosku, że możliwość zwiększenia ilości cykli zależy od wielu chemicznych i fizycznych czynników (np. temperatury wody, pH wody, prędkości wody) i wymaga poważnych ekspertyz. Przy danej różnorodności warunków eksploatacyjnych i skomplikowanym składzie chemicznym wody trudno jest przewidzieć maksymalną liczbę cykli dla dopuszczalnego stężenia. Dlatego też, aby eksploatacja danego systemu chłodzenia była uzasadniona ekonomicznie należy dokładnie rozważyć związane z nią koszty.

## 3. Techniki dodatkowe

W przypadku systemów z recyrkulacją zużywających relatywnie mniejsze ilości wody stosowane są pewne techniki dodatkowe. Celem zastosowania tych technik jest poprawienie jakości wody chłodzącej. Wstępne uzdatnianie wody chłodzącej (takie jak flokulacja, strącanie, filtracja, metody membranowe) może zmniejszyć zapotrzebowanie na wodę tam, gdzie wymagany jest mniejszy zrzut w celu utrzymania takiego samego współczynnika stężenia. Jednakże uzdatnianie

wody będzie prowadziło do wytwarzania ścieków, które będą musiały być poddane właściwej obróbce (patrz załącznik 4 na temat zrzutu).

Zbiornik wodny schładzający jest techniką ciągle stosowaną w starszych instalacjach i podlegającą ciągłemu usprawnianiu. Technika ta może być stosowana do zapobiegania emisjom ciepła do wód powierzchniowych i polega na wstępnym schładzaniu wody chłodzącej przed jej zrzutem do otoczenia, ale może także spełniać funkcje podobne do funkcji wieży chłodniczej będącej częścią całego obiegu. W zbiorniku tym woda jest chłodzona przez natrysk na wielką powierzchnię rozlewiska, która tworzy dużą powierzchnię chłodzącą, po czym woda ta może być ponownie użytkowana (załącznik 11). Należy zwrócić uwagę na niebezpieczeństwo mikrobiologiczne będące rezultatem tworzenia aerozolu wodnego (patrz punkt 3.7.3).

Redukcja zapotrzebowania na zasoby wodne jest także uzyskiwana przez łączenie zrzutów wody z różnych jednostek przemysłowych w jedno lub więcej miejsc. Ta metoda oszczędności wody może przynosić korzyści, ale wymaga starannych badań. W przypadku oceny różnych sposobów oszczędzania wody w przemyśle, należy wziąć pod uwagę wiele istotnych czynników [tm065, Meier i Fulks, 1990]:

1. przegląd dostępnych źródeł wody i informacje o ich składzie chemicznym;
2. ocenę zasobów źródeł i ich fluktuacji;
3. ocenę zanieczyszczeń i wymaganego uzdatniania wody pobieranej z danego źródła;
4. wpływ stosowanych obecnie procedur uzdatniania wody na istniejące metody przygotowania wody chłodzącej;
5. wpływ potencjalnego wzrostu przewodności recykulowanej wody na proces, w którym woda jest użytkowana;
6. warianty procedur uzdatniania chemicznego wody w systemach chłodzenia;
7. aspekty ekonomiczne alternatywnych metod ponownego użycia.

Czynniki wymienione powyżej wpływają na wybór źródła wody oraz na ilość wody, która będzie mogła być ponownie użyta. Zasoby wody dostępne na miejscu to przede wszystkim woda zrzutowa z wież chłodniczych i werników, a także wody pochodzące z miejskich oczyszczalni ścieków. We wszystkich przypadkach należy unikać bardzo skomplikowanych procedur uzdatniania wody (załącznik 11). Ponowne użycie wody ze zlewni chłodzących jest także możliwe w instalacjach, które nie są wrażliwe na podwyższone stężenie soli w wodzie.

Technologie zerowego zrzutu wody chłodzącej mogą być stosowane poprzez odpowiednie uzdatnianie i ponowne użycie wody zrzutowej. Należy porównać koszty obróbki ścieków ze środowiskowymi kosztami zrzutu wody do otoczenia (załącznik 11).

### **3.3.2 Wciąganie ryb**

#### **3.3.2.1 Skala zjawiska**

Przy dużych poborach wody, jak w przypadku systemów z jednorazowym przepływem, wciąganie i miażdżenie ryb stanowi poważny problem. Na ogół nie bada się skali tego zjawiska, szczególnie w stosunku do narybku przedostającego się przez sita na wejściu wody chłodzącej do pomp i skraplaczy. Wciąganie ryb stanowi problem lokalny i ilość zabitych ryb zależy od całości technicznych i hydrobiologicznych czynników, które sprawiają, że konieczne jest opracowanie

rozwiązań odpowiadających lokalnym uwarunkowaniom. Woda jest kierowana do kanałów wlotowych w wielkich ilościach i z dużą prędkością. Kanały wlotowe są zazwyczaj zaopatrzone w filtry skalno-piaskowe zabezpieczające wymiennik przed zatykaniem i mechanicznym zniszczeniem. Ryby są zabijane głównie wtedy, gdy strumień wody przyciska je do sit umiejscowionych przed skraplaczami lub wymiennikami ciepła. Duża liczba mniejszych organizmów jest wciąganych/porywanych przez wodę chłodzącą i ginie na skutek obrażeń mechanicznych.

Dane na temat ilości ryb porwanych razem z wodą chłodzącą lub wylapywanych na wlocie do systemu chłodzenia nie są szeroko publikowane. W Holandii nad rzeką Rhine [KEMA, 1992] przeprowadzono badania mające na celu oszacowanie ilości ryb, które przedostały się do systemu wody chłodzącej w elektrowni o mocy 600 MW<sub>e</sub> w ciągu 24-godzinn. Przepływ wody chłodzącej wynosił 22 – 25 m<sup>3</sup>/s. Badanie to pokazało, że ilość porwanych ryb była różna w różnych latach i zależała także od pory roku. Największą ilość wciąganych ryb odnotowano latem.

Badania przeprowadzone na elektrowni o mocy 2000 MW nad rzeką Trent w Anglii wykazały, że najczęściej ryb wciągane jest latem o zmierzchu lub tuż po zmierzchu. Elektrownia ta nie posiada systemu chłodzenia z jednorazowym przepływem i nie znaleziono żadnych dowodów na występowanie tego zjawiska na większą skalę. Podobne wyniki uzyskano podczas badań przeprowadzonych w elektrowni o podobnych parametrach nad rzeką Tamizą [Carte i Reader, w prasie]. Oczka sita w filtrach w obu elektrowniach miały prześwity o szerokości 9 mm. Badania nad ilością porwanych i zabitych ryb przeprowadzone w duńskich elektrowniach pokazują, że więcej niż 95% zniszczonych organizmów było rybami 0<sup>+</sup> urodzonymi na wiosnę tego samego roku o wymiarach poniżej 10 cm. Potwierdzają to wyniki badań we wspomnianej wcześniej elektrowni nad rzeką Trent. Okazuje się, że, pomimo, iż śmiertelność była równa 100%, to liczbowo była ona znikoma w porównaniu z naturalną śmiertelnością narybku [Carte i Reader, w prasie].

Odnotowano także różnice w ilości oraz gatunku zabitych ryb w zależności od rozpatrywanej elektrowni. Wyniki programu badań w sześciu duńskich elektrowniach nad rzeką Rhine, Meuse i nad dopływami tej rzeki pokazują, że ilość gatunków ryb waha się pomiędzy 12 a 25, a ilość porwanych ryb wynosi średnio od 0,02 do 2,45 ryby na 1000 m<sup>3</sup> wody chłodzącej w ciągu roku [Haddingh et al., 1993]. W elektrowniach usytuowanych nad jeziorami, nad ujściami rzek i na wybrzeżach morskich odnotowana ilość zabitych ryb może być dużo wyższa niż w elektrowniach usytuowanych nad rzekami i może wynosić nawet do 25 ryb na 1000 m<sup>3</sup> [KEMA, 1982].

**Tabela 3.4: Ilość ryb ginących w elektrowniach. Wartości odnoszą się do 1 roku przy znormalizowanym przepływie wody chłodzącej.**

[tm164, Travade, 1987] i [tm165, Turnpenny et al., 1985]

Woda	Elektrownia	Moc elektryczna (MW <sub>e</sub> )	Ilość porwanych ryb (kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Morze Północne	Sizewell A	480	73
	Kingsnorth	2000	4,4
	Dunkerque	600	19
	Gravelines	5400	48
Kanał La Manche	Dungeness A	410	190
	Dungeness B	1200	40
	Paluel	5200	43
	Fawley	2000	19
Kanał Bristolski	Hinkley B	1300	24
Ujścia rzek	Le blayais	3600	79
Rzeki	Loire (St Laurent A)	1000	1.8

### 3.3.2.2 Stosowane techniki redukcji

W celu zapobiegania wciąganiu ryb ze względu na duże pobory wody chłodzącej w przemyśle rozwijane jest i stosowane z różnym skutkiem wiele różnych technik. Opracowanie optymalnych rozwiązań, otrzymywanie dobrych rezultatów oraz zdolność do spełnienia wymogów określonych przez najlepsze dostępne techniki BAT zależą od różnorodnych czynników biologicznych, środowiskowych i konstrukcyjnych charakterystycznych dla danego miejsca. Dlatego też porównanie tych technik jest niemożliwe.

#### 1. Technologia chłodzenia

Nie odnotowano żadnych zmian w technologii, które miałyby na celu zapobieżenie wciąganiu ryb. Oczywiście zjawisko to przestaje być problemem w momencie zmiany systemu na otwarty lub zamknięty system chłodzenia z recykulacją, co jest jednak operacją kosztowną i może być brane pod uwagę głównie przy budowie nowej instalacji. Urządzenia zapobiegające wciąganiu ryb można znaleźć w np. przemyśle energetycznym i w rafineriach. Stosowane są następujące rozwiązania:

- sygnalizatory dźwiękowe; skutecznie odstrasza większość gatunków ryb oprócz węgorzy,
- systemy świetlne z podwodnymi lampami; skutecznie odstrasza węgorze
- umiejscowienie, głębokość i konstrukcja urządzenia czerpiącego wodę;
- ograniczenie prędkości wlotowej wody (dane z badań przeprowadzanych w Anglii wskazują, że porwane ryby poddają się nurtowi wody (np. szczególnie przepływ unoszący lub dyspersyjny) nawet, jeśli są fizycznie zdolne do ucieczki),
- rozmiary oczek sit filtrujących wodę chłodzącą (przeciwdziałających zniszczeniom mechanicznym systemu chłodzenia). Z obserwacji wynika, że w tej samej elektrowni prześwit o wielkości 5 na 5 mm średnio dwa razy powiększa liczbę ryb przeżywających na wylocie wody chłodzącej w porównaniu z rozmiarem oczek 2 na 2 mm, ponieważ

śmiertelność narybku spowodowana uszkodzeniami mechanicznymi na sitach jest wyższa niż śmiertelność po przejściu przez układ filtracyjny [KEMA, 1972] i [Hadderigh, 1978]. Śmiertelność ryb na sitach można zmniejszyć przez zastosowanie dobrego systemu do wmywania ryb z sit i zawracania ich do wód powierzchniowych.

## 2. Praktyki eksploatacyjne i techniki oczyszczania na wyjściu

Obniżenie prędkości napływu wody do poziomu poniżej 0,1- 0,3 m/s odniosło dobry skutek i zmniejszyło ilość porwanych ryb. Jednakże zmniejszenie prędkości może oznaczać, że potrzebne będą większe średnice wlotowe kanałów, co może spowodować skutki techniczne i finansowe. Ogólnie zmiany w praktyce eksploatacyjnej lub techniki oczyszczania na wyjściu nie mają wpływu na zjawisko wciągania ryb, ale niektórzy eksperci są zdania, że możliwe jest zmniejszenie ilości zabijanych dzięki uwzględnieniu dziennego i sezonowego rozkładu ilości zabijanych ryb.

**Tabela 3.5 Dostępne technologie ochrony ryb stosowane w ujęciach wody chłodzącej [tm152, Taft, 1999]**

Kategoria	Technika ochrony	Efekty	Uwagi
systemy zbierania ryb	optymalizacja (powiększenie) rozmiaru oczek sit w ruchomych filtrach wodnych	większa przeżywalność narybku i ryb we wczesnej fazie rozwoju	śmiertelność ryb w układzie chłodzenia w tych stadiach jest mniejsza niż śmiertelność na sitach
	niskociśnieniowe strumienie wody do wmywania ryb z sit i do zawracania ich z powrotem do wód powierzchniowych	transport ryb z powrotem na pełne wody	wymaga drugiego wysokociśnieniowego systemu wodnego do oczyszczania sit z ryb
	zbiorniki na ryby na sitach	większa przeżywalność porwanych ryb	ryby podczas transportu na pełną wodę pozostają stale w wodzie
	ciągła rotacja ruchomych sit	większa przeżywalność porwanych ryb	skrócenie czasu uwięzienia
	pompy na ryby	transport ryb z powrotem na pełne wody.	trudno jest utrzymać właściwe warunki w rurach przepływowych
systemy odstraszenia ryb	osłony ustawione pod kątem lub szczeliny kierujące ryby bocznym odpływem	- przeżywalność w przypadku bardziej wytrzymałych gatunków jest o 50 - 100 % większa niż w przypadku delikatnych gatunków - nie odnoszą żadnych skutków w przypadku ikry, narybku i małych bezkręgowców	- wymaga jednolitego, stałego przepływu o małej prędkości - konieczne jest usuwanie szczątków
bariery behawioralne	światła - stroboskopowe - ciągłe - światło rtęciowe - inne światło	efekty różnych systemów świetlnych zależą od uwarunkowań lokalnych, gatunków ryb i stadium rozwojowego ryb.	w wielu sytuacjach niezbędne jest wyznaczenie bocznego przepływu dla odstraszonych ryb
	dźwięk	efekty zależą od uwarunkowań lokalnych, gatunków ryb i stadium rozwojowego ryb	w wielu sytuacjach niezbędne jest wyznaczenie bocznego przepływu dla odstraszonych ryb



### 3.3.2.3 Koszty sygnalizacji świetlnej i dźwiękowej

Oczywiście każda zmiana w istniejącym systemie będzie pociągać za sobą pewne koszty. W przemyśle energetycznym dodatkowy koszt inwestycji na technologie ochrony ryb stosowane w istniejących instalacjach szacuje się na 40000 do 200000 €, łącznie z kosztami okresów przerw w eksploatacji. W przypadku budowy nowej elektrowni koszty inwestycyjne na alternatywne urządzenia pobierające wodę są przypuszczalnie niższe.

W celu zapewnienia dobrej efektywności pracy, prędkość wody przepływającej przez urządzenia dźwiękowe i świetlne nie powinna przekraczać 0,3-0,5 m/s. Parametr ten determinuje długość systemu.

Koszty materiałowe i konstrukcyjne systemu świetlnego wynoszą od 90000 do 140000 € dla systemu o długości 100 m, a koszty systemu dźwiękowego (BAFF) to około 180000 €.

### 3.3.3 Emisja ciepła do wód powierzchniowych

#### 3.3.3.1 Wielkość emisji ciepła

Całe emitowane ciepło przedostaje się ostatecznie do powietrza. Jeśli woda używana jest jako medium chłodzące pośrednie, całe ciepło będzie przedostawało się do powietrza na dwa sposoby: z kropel wody w wieży chłodniczej lub z powierzchni wody, do której odprowadzany jest strumień zrzutowy. Zanim woda zostanie ochłodzona, ciepło w niej zawarte może wpływać na ekosystem wodny, czego należy unikać.

Emisja ciepła jest także problemem ściśle związanym z ilością wody chłodzącej i wody zrzucanej. Systemy z jednorazowym przepływem, zarówno pośrednie, jak i bezpośrednio z definicji tworzą większe źródło ciepła odprowadzanego do wody, ponieważ ciepło jest odprowadzane w całości przez wodę chłodzącą. Woda chłodząca w systemach z recyrkulacją wydziela najwięcej ciepła do powietrza poprzez wieżę chłodniczą. Ilość ciepła odprowadzana z wodą z wieży chłodniczej stanowi ok. 1,5% całego ciepła, podczas gdy 98,5% jest oddawane do powietrza. Mało informacji dostępne jest na temat wpływu emisji ciepła na ekosystem wodny, ale istnieje duża wiedza praktyczna na temat małych strumieni wodnych i dużych temperatur w lecie. Wzrost temperatury może doprowadzić do podwyższonej respiracji i wzrostu biologicznego (eutrofikacja). Odprowadzenie wody chłodzącej do wód powierzchniowych wpływa na cały system wodny, a szczególnie na populację ryb. Temperatura wody ma bezpośredni wpływ na wszystkie formy życia i ich procesy fizjologiczne oraz pośrednio wpływa na bilans tlenu w wodzie.

Ogrzanie wody obniża ilość tlenu rozpuszczonego w wodzie i przyspiesza mikrobiologiczny rozkład substancji organicznej, co powoduje szybsze zużywanie tlenu. Gdy stosowana jest recyrkulacja wody chłodzącej, lub gdy kilka gałęzi przemysłu korzysta z tego samego ograniczonego źródła wody, emisja ciepła wymaga dokładnego rozpatrzenia w celu zabezpieczenia przed wpływem temperatury wody na inne procesy przemysłowe.

Przy danym cieple właściwym wody 4,2 kJ/kg/K możliwe jest obliczenie wzrostu temperatury wody. Na przykład, kiedy woda chłodząca jest podgrzewana średnio o 10K, usunięcie 1 MW<sub>th</sub> ciepła wymaga wydatku strumienia wody chłodzącej o wielkości około 86 m<sup>3</sup>/h. Ogółem każdy

$kW_{th}$  wymaga  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$  wody chłodzącej. W przypadku obiegów z recyrkulacją ciepło jest przekazywane do powietrza przez odparowanie wody chłodzącej w wieżach chłodniczych z ciepłem odparowania równym  $2500 \text{ kJ/kg}$  (w  $20^\circ\text{C}$ ).

W szczególności w przemyśle energetycznym badano czynniki mające znaczenie w rozpraszaniu wielkich ilości ciepła w wodach powierzchniowych. Należy wziąć pod uwagę wiele zjawisk fizycznych, takich jak:

- sezonowe różnice w temperaturze wody odbierającej strumień zrzutowy;
- sezonowe różnice w poziomie wód w rzekach i różnice w prędkości nurtu;
- stopień mieszania wody zrzutowej z wodą rozpraszającą (blisko i daleko od miejsca pracy systemu chłodzenia);
- wybrzeża, ruchy pływowe lub silne prądy morskie i
- ruchy konwekcyjne w wodzie i powietrzu.

Zachowanie strumieni gorącej wody w wodach powierzchniowych może nie tylko mieć znaczenie przy ochronie wód, do których trafiają wody zrzutowe, ale też pomaga wybrać właściwe miejsce dla poboru i zrzutu wody chłodzącej. Duże znaczenie ma zapobieganie ponownemu zaczerpnięciu wody gorącej, co wpływałoby na wydajność systemu chłodzenia. Jako przykład można podać zasięg strugi termicznej, definiowanej jako obszar izotermy  $1\text{K}$  bez mieszania przez silne prądy (np. w jeziorze), który wynosi około  $1 \text{ ha}$  na  $1 \text{ MW}_e$  w konwencjonalnej elektrowni lub około  $45 \text{ km}^2$  dla elektrowni  $5000 \text{ MW}_e$ . Bardziej obszerny opis zachowania strumieni gorącej wody można znaleźć w załączniku XII.

### 3.3.3.2 Wymagania prawne dotyczące emisji ciepła

#### Wymagania odnośnie źródeł wody świeżej

Dyrektywa Unii Europejskiej 78/659/EWG (z 18 lipca 1978 r.) określa środowiskowe standardy jakościowe dla pewnych substancji i odprowadzania ciepła do określonych zarybionych zbiorników słodkowodnych. W Artykule 11 dotyczącym derogacji dla Państw Członkowskich dyrektywa uwzględnia lokalne warunki środowiskowe.

W przypadku, gdy wymagania termiczne zależą od występujących w danym zbiorniku gatunków ryb możliwe jest wyszczególnienie dwóch rodzajów zbiorników ze względu na występujące w nich populacje ryb:

- wody „łososiowe”
- wody „karpiove”

Dla każdego systemu ekologicznego stosuje się trzy parametry termiczne:

- maksymalna temperatura wody na granicy obszaru mieszania
- maksymalna temperatura podczas okresu hodowli „gatunków zimnolubnych”
- maksymalny przyrost temperatury.

**Tabela 3.6: Wymagania termiczne odnośnie temperatury wody dla dwóch systemów ekologicznych (dyrektywa europejska 78/659/EWG)**

Parametr	wody „łososiowe”	wody „karpiove”
$T_{\max}$ na granicy obszaru mieszania (°C)	21,5	28,0
$T_{\max}$ podczas tarła dla gatunków zimnolubnych (°C)	10,0	10,0
$\Delta T_{\max}$ (°C) na granicy strefy mieszania	1,5	3,0
Uwaga: temperatury graniczne mogą być przekroczone maksymalnie o 2%.		

### Inne zbiorniki wodne dla wody zrzutowej

W Państwach Członkowskich UE emisja ciepła do wód powierzchniowych jest regulowana na różne sposoby w zależności od warunków ekologicznych i innych czynników, takich jak: wrażliwość wód powierzchniowych, lokalne warunki klimatyczne, zdolność przyjmującego zbiornika do rozpraszania odbieranego ciepła oraz prądy i fale dominujące w danym zbiorniku (hydrodynamika). W istniejących aktach prawnych emisja ciepła jest często rozważana w odniesieniu do wód powierzchniowych. Przykładami takiego podejścia są:

- normalizacja maksymalnej temperatury wody zrzutowej (np. 30°C w lecie w klimatach umiarkowanych i 35°C w ciepłych krajach),
- ograniczenie maksymalnego ogrzewania w stosunku do wód odbierających oraz sezonowych różnic temperatur (np.  $\Delta T_{\max}$  7-10K, mierzone na całej długości procesu produkcyjnego)
- ustalanie maksymalnego akceptowalnego profilu temperatur wód powierzchniowych i całkowitej dostępnej wydajności chłodzącej wód powierzchniowych.

Wymagania te zostały sformułowane w pozwoleniach.

Pozostałe uregulowania nie określają dokładnej wartości temperatury zrzutu. Początkowo ograniczenie temperatury zrzutu odnosiło się do typu systemu chłodzenia. Dodatkowo sezonowe zmiany temperatury wód powierzchniowych odgrywają ważną rolę w ustalaniu temperatur zrzutu. Niektóre organy lokalnej władzy przeprowadzają dalszą klasyfikację wód odbierających wody zrutowe według charakterystyki występującej w nich fauny.

### 3.3.3.3 Stosowane techniki redukcji

#### 1. Technologie chłodzenia

Najlepszym sposobem na zmniejszenie emisji ciepła jest zmniejszenie ilości odprowadzanej wody poprzez optymalizację procesu podstawowego lub znalezienie odbiorców ciepła odpadowego. W przypadku emisji ciepła do otoczenia najważniejszym problemem jest jego odprowadzanie do wód powierzchniowych. Rozważając możliwe techniki redukcji należy pamiętać, że w końcu całe ciepło zostanie odprowadzone do powietrza, a wody powierzchniowe stanowią jedynie medium pośrednie. Przy wyborze pomiędzy różnymi systemami chłodzenia może to być kwestia decydująca. Dlatego też, wpływ na środowisko zrzutu ciepła może być minimalizowany przez odprowadzanie większej ilości ciepła do atmosfery i zmniejszenie zrzutu

do wód powierzchniowych, który powoduje straty wody na skutek odparowania. Minimalizacja odprowadzonego ciepła do wód powierzchniowych jest związana z ich mniejszym zużyciem i całkowitą sprawnością energetyczną procesu. Im więcej ciepła jest odprowadzanego przez konwekcję i odparowanie, tym więcej energii  $E$  na 1 MW<sub>th</sub> ciepła odprowadzonego jest wymagane do napędu wentylatorów, chyba, że stosuje się systemy z przepływem grawitacyjnym powietrza. Wymaga to zwykle dużych inwestycji i miejsca.

W przypadku wielkich wydajności szeroko stosowanym sposobem na zmniejszenie ilości ciepła odprowadzonego do wód powierzchniowych (głównie) w rzekach i jeziorach jest wybór odpowiedniej techniki wymiany ciepła, np. zamiast systemu z jednorazowym przepływem wybierany jest system z otwartą mokrą lub mokrą/suchą wieżą chłodniczą.

## 2. Praktyka eksploatacyjna

Nie zgłoszono żadnych szczególnych sposobów eksploatacji mających na celu zapobieganie lub zmniejszanie emisji ciepła odprowadzanego do wód powierzchniowych.

## 3. Techniki dodatkowe

Starą praktyką wciąż jeszcze stosowaną w Europie, ale tylko na małą skalę, choć ostatnio przeżywającą renesans, jest stosowanie tzw. parujących stawów z natryskiem wodnym. Przy zwiększaniu skuteczności chłodzenia dużą rolę odgrywają kąt rozprysku wody z dyszy oraz czas potrzebny na powrót wody do stawu przed jej doprowadzeniem z powrotem do obiegu chłodzenia, a także wystarczająco duża tafla wody. W celu określenia parametrów tej techniki należy porównać ją z wieżą chłodniczą o tej samej wydajności chłodzenia. Należy także zwrócić uwagę na:

- wymaganą powierzchnię
- straty wody przez odparowanie
- zużycie energii
- potrzebę uzdatniania wody oraz
- ryzyko wzrostu mikrobiologicznego ze względu na tworzenie się aerozoli (patrz także punkt 3.7.3).

Inną techniką oczyszczania na wyjściu jest wstępne chłodzenie wód zrzutowych z wielkich elektrowni przy pomocy wież chłodniczych. Jest to technika kosztowna stosowana wtedy, gdy cyrkulacja w wodzie powierzchniowej może wpływać na temperaturę wody chłodzącej w punkcie jej poboru. Dodatkowe koszty związane z zastosowaniem dodatkowej wieży chłodniczej plus straty wody w wyniku odparowania będą musiały być porównane do kosztów poniesionych w związku ze zmniejszeniem sprawności i podwyższeniem temperatury poboru wody.

Innym sugerowanym sposobem zredukowania wpływu odprowadzania ciepła na środowisko jest projektowanie zrzutu wody chłodzącej w taki sposób, by ciepło było rozpraszane na skutek wywołanej sztucznie turbulencji. Efektem pobocznym tego sposobu jest wzrost zawartości tlenu w wodzie chłodzącej, co rekompensuje straty tlenu na skutek wyższej temperatury wody chłodzącej. Brak jest informacji na temat tej techniki, a uzyskane wyniki także były kwestionowane.

### 3.4 Emisje powstające przy uzdatnianiu wody chłodzącej

Emisje powstające przy uzdatnianiu wody chłodzącej wprowadzanej do wód powierzchniowych są uważane za jeden z najważniejszych problemów dotyczących systemów chłodzenia. Można wyróżnić cztery źródła zanieczyszczeń wód powierzchniowych wynikające ze stosowania mokrych systemów chłodzenia:

- substancje chemiczne powstające w procesie wytwórczym (produkt) oraz inne związki chemiczne przedostające się do wody na skutek przecieku;
- produkty korozji z procesów korozyjnych wyposażenia systemu chłodzenia;
- dodatki i związki chemiczne stosowane do uzdatniania wody chłodzącej;
- substancje zaabsorbowane z powietrza.

Do ograniczania tych emisji stosowane są różne techniki. Można zmniejszać ryzyko przecieku oraz możliwość niekontrolowanej emisji zanieczyszczeń po wycieku oraz zapobiegać korozji poprzez wybór urządzeń zbudowanych z odpowiednich materiałów. W rozdziale tym opisane zostaną sposoby redukcji emisji zanieczyszczeń oraz ich wpływu na środowisko ze względu na rodzaj stosowanych dodatków poprzez:

- zmniejszenie zapotrzebowania na uzdatnianie wody;
- wybór takich substancji chemicznych, które mają mniejszy szkodliwy wpływ na środowisko;
- zastosowanie substancji chemicznych w sposób jak najbardziej efektywny (eksploatacja systemów).

#### 3.4.1 Zastosowanie uzdatniania wody chłodzącej

Uzdatnianie wody jest stosowane w celu polepszenia efektywniejszej wymiany ciepła i ochrony systemu chłodzenia i w efekcie pozwala na ochronę urządzeń chłodzących przed niekorzystnym wpływem zanieczyszczeń. Innymi słowy, uzdatnianie wody chłodzącej ma na celu zmniejszenie całkowitego zużycia energii.

Efekty niekorzystne są ściśle związane z chemią wody pobieranej do chłodzenia i sposobem eksploatacji systemu chłodzenia (np. ilość cykli obiegu). Słona woda będzie wymagała innego traktowania niż woda słodka. Problem mogą też stanowić zanieczyszczenia przemysłowe obecne w strumieniu pobieranym. Dodatkowo woda chłodząca może ulec zanieczyszczeniu na skutek przecieku płynów procesowych w wymiennikach ciepła lub, w przypadku otwartych mokrych wież chłodniczych, poprzez powietrze przepływające przez wlot wprowadzający pyły, mikroorganizmy i opary.

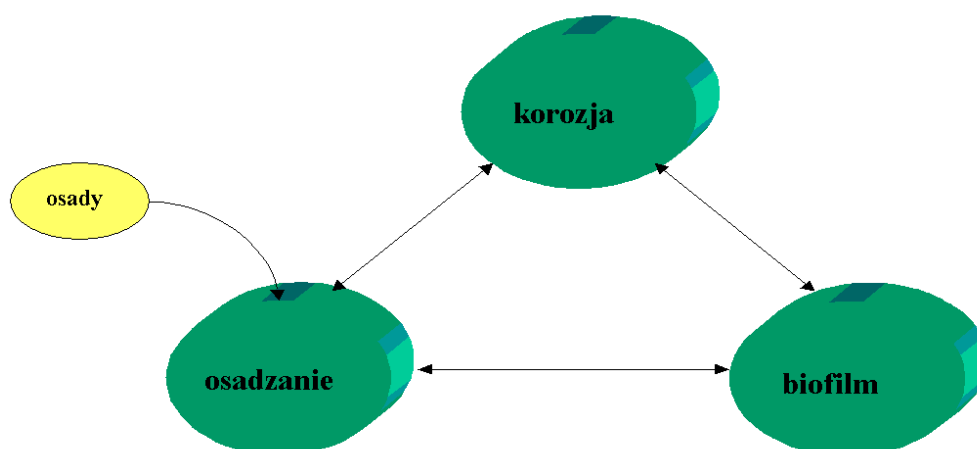
Dodatki do wody chłodzącej są używane w systemach z jednorazowym przepływem, w otwartych mokrych systemach chłodzenia oraz w systemach z zamkniętym mokrym i mokrym/suchym obiegiem chłodzenia. Tam gdzie woda jest używana jako medium pośrednie, np. w suchych systemach, do utrzymania dobrej jakości wody w obiegu zamkniętym potrzeba małej ilości dodatków.

Dodatki do wody chłodzącej mają duże znaczenie ze względu na ochronę środowiska: w pewnym momencie opuszczają system chłodzący i są zrzucone do wód powierzchniowych lub, w dużo mniejszym stopniu, są odprowadzane do powietrza. Ogólnie rzecz biorąc, skład chemiczny oraz

sposoby zastosowania używanych substancji chemicznych są znane, ale wyboru biocydów nieutleniających dokonuje się głównie metodą prób i błędów. Wpływ użytych substancji chemicznych na środowisko może być określony albo na podstawie modelowania (niebezpieczeństwa/ryzyka), albo poprzez pomiary. Ponieważ dodatki te są używane w celu poprawy sprawności wymiany ciepła, ich stosowanie jest również związane z efektami ubocznymi, które powstają na skutek niższej sprawności wymiany ciepła. Może to mieć także wpływ na proces przemysłowy, w którym używane jest chłodzenie, gdy wymiana ciepła jest nieefektywna i powodować wzrost zużycia energii (podobnie jak w przypadku zwiększenia emisji zanieczyszczeń do powietrza) lub wyższe zapotrzebowanie na surowiec, aby zrekompensować straty powstałe w produkcji. Zużycie energii w systemie chłodzenia może też wzrosnąć ze względu na wyższe zapotrzebowanie na napęd pomp i wentylatorów w celu pokrycia strat wynikających z gorszej wymiany ciepła.

Problemy związane z jakością wody są następujące:

- Korozja urządzeń wchodzących w skład systemu chłodzenia, która może być spowodowana przeciekami w wymiennikach ciepła, przeciekami płynów procesowych do środowiska lub stratami próżni w skraplaczach;
- Tworzenie się osadów, szczególnie przy wydzielających się związkach takich, jak węglan wapnia, siarczany i fosforany oraz związki cynku i manganu;
- Bioosady na rurach i w wymiennikach (także na wypełnieniu w wieżach chłodniczych) wytwarzane przez mikroorganizmy i rozpuszczone ciała stałe, które mogą prowadzić do zablokowania rur w wymiennikach ciepła przez większe cząstki czy konglomeraty lub do emisji zanieczyszczeń do powietrza w wieżach chłodniczych.



**Rysunek 3.1:** Graficzna prezentacja zależności pomiędzy różnymi zjawiskami związanymi z jakością wody.

Problemy związane z wodą chłodzącą są często ze sobą powiązane. Osady mogą prowadzić do korozji i bioosadów. Plamy pochodzenia korozyjnego prowadzą do zmian w profilach przepływu wody i tworzą rejony sturbulizowane, w których wzmagają się tworzenie bioosadu. Bioosady mogą z kolei przyczynić się do dalszej korozji powierzchni, na której się rozwinęły (rys. 3.1).



Do poprawienia jakości wody stosuje się następujące grupy związków chemicznych (patrz załącznik V):

- Inhibitory korozji:

wcześniej stosowane były metale, obecnie jednak istnieje tendencja do używania związków azolowych, polifosfonowych, polifosforanowych i polimerów. Oznacza to, że maleje toksyczność, ale wzrasta czas życia nowych związków w wodzie. Ostatnio odkryto nowe polimery ulegające biodegradacji.

- Stabilizatory twardości lub inhibitory osadów:

stosowane są głównie polifosforany, polifosfany i niektóre polimery. Ostatnie osiągnięcia w tej dziedzinie zmierzają również do zastosowania substancji podlegających biodegradacji.

- Związki chemiczne rozpraszające:

stosowane są głównie kopolimery, często w połączeniu ze środkami powierzchniowo czynnymi. Ich najważniejszą właściwością jest słabe uleganie biodegradacji.

- Biocydy utleniające:

stosowane są głównie chlor (lub mieszanina chloru i bromu) i monochloroaminy. Chlor (brom) jest silnym utleniaczem (bardzo toksycznym), co oznacza, że połowiczny czas jego rozpadu jest krótki, ale występują efekty uboczne chlorowania takie, jak tworzenie produktów z grupami halogenowymi. Innymi biocydami (czynnikami) utleniającymi są ozon, promieniowanie UV, nadtlenek wodoru lub kwas nadoctowy. Użycie ozonu i promieniowania UV wymaga uzdatniania wstępnego i specjalnych materiałów. Oczekuje się, że wpływ na środowisko będzie mniejszy niż w przypadku biocydów halogenowych, ale stosowanie ich wymaga specjalnych środków ostrożności. Poza tym są one drogie i nie mogą być stosowane we wszystkich przypadkach.

- Biocydy nieutleniające:

stosowane są głównie: izotiazoliny, DBNPA, glutaaraldehydy i czterowartościowe związki amonowe itp. Związki te są zazwyczaj bardzo toksyczne i często z trudem ulegają biodegradacji, choć istnieją także takie, które hydrolizują lub rozkładają się dzięki innym mechanizmom. Ich oddziaływanie na środowisko naturalne jest znaczące.

**Tabela 3.7: Składniki chemiczne używane przy uzdatnianiu wody w systemach mokrych otwartych z recykulacją i bez recykulacji.**

Przykłady uzdatniania chemicznego *	Zagadnienia związane z jakością wody					
	korozja		osady		(bio-)osady	
	systemy z jedno krotnym przejściem	systemy z recykulacją	systemy z jedno krotnym przejściem	systemy z recykulacją	systemy z jedno krotnym przejściem	systemy z recykulacją
cynk		X				
molibdenki		X				
krzemiany		X				
fosforany		X		X		
polifosforany		X		X		
estry				X		
naturalne				X		

ograniczone						
polimery	X	X	X	X	X	X
biocydy nieutleniające						X
biocydy utleniające					X	X
<b>Uwagi:</b> chromiany nie są już powszechnie używane ze względu na ich duży wpływ na środowisko						

Potrzeba uzdatniania wody chłodzącej oraz rodzaj i ilość stosowanych związków chemicznych zostały szerzej opisane w załączniku V. Stosowanie uzdatniania jest zagadnieniem wysoce złożonym i zależnym od warunków lokalnych. Wybór odpowiedniego systemu uzależniony jest od następujących czynników:

- konstrukcja i materiały użyte przy budowie systemu chłodzenia;
- temperatura i własności chemiczne wody chłodzącej;
- organizmy żyjące w pobieranej wodzie do chłodzenia, które mogą trafić do systemu chłodzenia;
- wrażliwość ekosystemu, do którego trafia woda zrzutowa z systemu chłodzenia na dodatki chemiczne i powstające półprodukty.

Do osiągnięcia dobrych parametrów jakiegokolwiek procesu uzdatniania wymagana jest zazwyczaj kontrola pH wody i jej zasadowości w określonych granicach wartości. Właściwe pH i kontrola zasadowości jest szczególnie ważna tam, gdzie stosuje się uzdatnianie wrażliwe na pH lub tam, gdzie wydłużony jest okres przebywania wody w obiegu recyrkulacyjnym (zwiększenie ilości cykli) w wieżach chłodniczych w celu zminimalizowania zapotrzebowania na wodę. Rozwiązaniem coraz szerzej stosowanym w przemyśle są zaawansowane programy konserwacji i napraw przeprowadzane przez wyspecjalizowaną grupę, przy czym odpowiedzialność za eksploatację systemów pozostaje w gestii właściciela systemu chłodzenia.

Biorąc pod uwagę specyfikę miejsca i systemu, trudno będzie znaleźć typowy zakres ilości substancji dodatkowych stosowanych w poszczególnych systemach. Tam gdzie wartości takie zostały podane były one wyrażane w kg lub tonach na 1 m<sup>3</sup> wody chłodzącej lub w kg lub tonach na 1 MW<sub>th</sub> ciepła rozproszonego. W tabeli 3.8 pokazano wyniki przeprowadzonego niedawno w Holandii bilansu chloru, który jest szeroko stosowany w duńskim przemyśle. Otrzymane wyniki różnią się w zależności od badanych systemów i typów wód. Innymi źródłami wody w systemach z recyrkulacją są np. woda pitna, gruntowa i skroplona.

**Tabela 3.8: Zużycie podchlorynu w mokrych systemach chłodzenia w Holandii [tm160, Bijstra, 1999]**

Źródło wody chłodzącej	Zużycie chloru aktywnego kg/MW <sub>th</sub> /rok	
	systemy z jednorazowym przepływem	systemy z recyrkulacją
woda słodka	85 (10-155)	200 (20-850)
woda słona lub słonawa	400 (25-2500)	
inne źródła wody		400 (20-1825)

### 3.4.2 Emisje substancji chemicznych do wód powierzchniowych

W Europie i Stanach Zjednoczonych przeprowadzano wiele badań nad optymalizacją uzdatniania wody chłodzącej, stosowaniem obróbek alternatywnych i innymi technikami zabezpieczania środowiska wodnego przed szkodliwym wpływem wynikającym ze stosowania dodatków chemicznych w wodzie chłodzącej. W większości prace dotyczyły stosowania biocydów.

Poszczególne zanieczyszczenia wynikające z uzdatniania wody chłodzącej mogą być trudne do określenia w sytuacjach, w których niedostępne są techniki analizy substancji stosowanych przy uzdatnianiu. Poza tym substancje chemiczne używane do uzdatniania wody chłodzącej oraz półprodukty powstałe z używanych związków chemicznych mogą także znacznie wpływać na środowisko przez oddziaływanie na wody powierzchniowe. Jeżeli jako dodatek używany jest brom lub chlor, 3-5% tych pierwiastków tworzy związki halonowe (chloroform lub bromoform) [tm072, Berbee, 1997].

Ilościowa charakterystyka krótkoterminowych efektów oddziaływania może być przeprowadzona przez pomiar toksyczności strumieni wody chłodzącej zrzucanych do otoczenia. Wyniki takich testów mogą być uznane za szacunkowe dane dotyczące wpływu uzdatniaczy na wody powierzchniowe, [efekty długoterminowe (chroniczne), biodegradowalność, bioakumulacja ( $P_{ow}$ ) i czynniki kancerogenne nie są przedmiotem prowadzonych testów]. Ostatnio w Holandii ukazało się wiele prac na temat biocydów utleniających (głównie podchlorynu ([tm001, Bloemkolk, 1997], [tm072, Berbee, 1977] i [tm160, Bijstra, 1999]) i biocydów nieutleniających ([tm001, Bloemkolk, 1997] i [tm149, Baltus et al., 1999]).

#### 3.4.2.1 Biocydy utleniające

W wielu państwach przedsięwzięto działania w celu osiągnięcia optymalnego zużycia podchlorynu w wodzie chłodzącej. Wolny utleniacz [mg FG/l] jest często używany jako parametr kontrolny wody chłodzącej. W Holandii stężenie 0,1 – 0,2 [mg FO/l] w wodach zrzutowych jest traktowane jako stężenie docelowe w dozowaniu ciągłym (jednorazowy przepływ) w systemach chłodzenia. Dla chlorowania czasowego lub szokowego stężenie wolnego utleniacza lub całkowita szczątkowa ilość utleniaczy jest zawsze poniżej 0,2 mg/l jako średnia wartość dzienna (24h). Podczas szokowego podawania stężenie wolnego utleniacza lub całkowita szczątkowa ilość utleniaczy może być bliskie lub równe 0,5 mg/l (średnio godzinne).

Optymalizacja przez wprowadzenie monitoringu i kontrolowanego (automatycznego) dozowania biocydów może znacznie zmniejszyć roczne zużycie substancji chemicznych stosowanych w wodzie chłodzącej. Wynikiem tego może być zmniejszenie ilości biocydów i ich półproduktów, takich jak związki organiczne halogenowe z bromoformem jako produktem głównym [tm157, Jenner et al., 1998].

Wiele firm w przemyśle chemicznym i sektorze produkcji energii osiągnęło zmniejszenie zużycia podchlorynu w wodzie chłodzącej o ponad 50% przez wprowadzenie wyżej wymienionych sposobów optymalizacji [tm160, Bijstra, 1999].

### 3.4.2.2 Biocydy nieutleniające

W 1999 r. przeprowadzono badania nad wpływem na środowisko naturalne użycia utleniających i nieutleniających związków chemicznych w systemach chłodzenia z recyrkulacją. W przypadku tych związków, dla których dostępne były analityczne metody pomiarów, mierzono ich stężenie w wodzie chłodzącej. Testy na toksyczność były wykonywane dla wszystkich substancji chemicznych w celu określenia ich wpływu na wody powierzchniowe. W wielu przypadkach, gdy woda chłodząca jest zrzucana bezpośrednio do wód powierzchniowych użycie związków nieutleniających w systemach z recyrkulacją bardzo silnie wpływa na wody powierzchniowe. Dla substancji utleniających (podchloryn) wartości stosunku przewidywanego stężenia w środowisku do braku efektu stężenia (PEC/PNEC) na podstawie testów toksyczności zostały stwierdzone na poziomie 3 (przy dozowaniu ciągłym) i 33 (przy dozowaniu szokowym), a dla związków chemicznych nieutleniających stosunek przewidywanego stężenia w środowisku do braku efektu stężenia (PEC/PNEC) wynosił 20 (izotiazoliny). Wartość BNS wynosiła 2500, stosunek BNS/MBT wynosił 660-13000, a wartość DBNPA - 3700 ([tm149, Baltus et al., 1999] patrz podsumowanie na str. 9-10, tabela 16 na str. 64 i rozdział 9, str. 75-82).

Inne przeprowadzone badania wykazały, że potencjalne niebezpieczeństwo dla wód powierzchniowych nie może zostać wykluczone, gdy jako uzdatniaczy wody chłodzącej używa się izotiazolin (1,2-benzoizotiazoli-3-na, 2-metylo-4-izotiazoli-3-na) (patrz [tm149, Baltus et al., 1999] str. 13 i 14).

Programy uzdatniania różnią się znacznie między sobą i zależą od wyżej wymienionych czynników, a więc mogą być uznane za charakterystyczne dla danego miejsca. Emisje uzdatniaczy różnią się ilością i własnościami chemicznymi (toksyczność, reaktywność). Rozkład, reakcje wewnętrzne i możliwe sposoby oczyszczania mogą wpływać na rzeczywistą ilość związków chemicznych, która jest ostatecznie emitowana do otoczenia, co w konsekwencji ma wpływ na środowisko wodne. Optymalizacja i kontrolowane uzdatnianie wody chłodzącej przez stosowanie dozowania (automatycznego) i monitoringu mogą zredukować użycie substancji chemicznych w wodzie chłodzącej, a w konsekwencji znacznie zmniejszyć ich negatywny wpływ na wody powierzchniowe, do których zrzucana jest woda chłodząca.

W Holandii stosowanie podchlorynu i bromu w wodzie chłodzącej jest najważniejszym źródłem powstawania organicznych substancji halogenkowych mierzonych jako adsorbowane organiczne chlorowce w wodach powierzchniowych [tm001, Bloemkolk, 1997] i [tm072, Berbee, 1997].

Czasami woda przed zrzutem jest uzdatniana w instalacji służącej specjalnie do tego celu. Przykładem jest strumień wody zrzutowej wraz z innymi ściekami powstającymi w rafineriach. Ten sposób uzdatniania może zmniejszyć efekt wpływu biocydów na wody powierzchniowe. Uzdatnianie biologiczne może być wrażliwe na niskie stężenia biocydów nieutleniających, które mogą spowodować przerwę w pracy instalacji uzdatniania. Odnotowano zahamowanie zawiesiny aktywnej na poziomie 60% i więcej (100%). Uzdatnianie fizyczne/chemiczne z użyciem biocydów jest nadal prowadzone na poziomie eksperymentalnym. Przeszkodą w obróbce fizycznej z użyciem biocydów nieutleniających może być ich biegunowość w fazie wodnej.

Zrzut wody z systemów z systemów z jednorazowym przepływem wody chłodzącej pozwala na najskuteczniejszą kontrolę przedostawania się biocydów do środowiska zewnętrznego. W

przypadku systemów zamkniętych zrzut taki nie jest praktykowany. W procesie tym powstaje niewielka ilość odpadów, które zazwyczaj są kierowane do ścieków. Stężenie biocydów w wodzie chłodzącej tuż po ich podaniu będzie oczywiście najwyższe, co będzie miało wpływ także na ich stężenie w wodzie zrucanej lub poddawanej oczyszczaniu. Dzięki reakcjom chemicznym zachodzącym w wodzie chłodzącej, np. hydrolizie, stężenie biocydów stopniowo maleje, co pozwala oszacować oczekiwane stężenie w wodzie zrutowej. Informacje te są również przydatne wtedy, gdy po uzdatnianiu należy zabezpieczyć zrzut wody przed nadmiernym stężeniem biocydów o wysokim stopniu aktywności chemicznej. Aby osiągnąć dalszą optymalizację należy wziąć pod uwagę wiele ważnych czynników. Oprócz stężenia substancji na wylocie istotna jest także kontrola procesu.

### 3.4.2.3 Czynniki wpływające na emisję biocydów

Czynniki wpływające na obecność zwykle stosowanych biocydów utleniających i nieutleniających w wodzie zrutowej i w środowisku wodnym, do którego dostaje się woda chłodząca zostały szczegółowo opisane w opracowaniach [tm004, Baltus and Berbee, 1996]. Poniższe czynniki, w połączeniu z określonymi warunkami procesowymi, mają wpływ na dobór odpowiedniego rodzaju systemu uzdatniania:

- hydrauliczny połowiczny czas rozpadu (używane jest także pojęcie połowiczny czas życia);
- hydroliza;
- biodegradacja;
- fotoliza;
- lotność.

Ilość substancji oczyszczającej determinuje hydrauliczny połowiczny czas rozpadu. Im więcej substancji, tym krótszy jest połowiczny czas życia i krótszy czas retencji biocydów.

Hydrauliczny połowiczny czas rozpadu nie wpływa na działanie biocydów utleniających ze względu na ich szybką dysocjację, ale ogranicza funkcjonowanie biocydów nieutleniających.

Hydroliza biocydów nieutleniających następuje przy określonej wartości pH i w określonej temperaturze wody. Ogólnie, wraz ze wzrostem pH i/lub wzrostem temperatury, hydroliza zwiększa się, a efekt stosowania biocydów zmniejsza się. W konsekwencji niższa temperatura wody odbierającej będzie zwalniała hydrolizę i wydłużała czas życia biocydów nieutleniających w środowisku wodnym.

Biodegradacja, fotoliza i lotność nie grają istotnej roli w degradacji nieutleniających biocydów. Fotoliza może wystąpić, jeśli zbiornik wodny jest wystawiony na światło słoneczne.

Odparowanie może mieć znaczenie w przypadku biocydów utleniających (podchloryn). Można przytoczyć wyniki badań, w których stwierdzono tzw. efekt rozkładu w wieżach chłodniczych, wyjaśniający utratę 10-15% podchlorynu przy każdym przejściu przez wieżę chłodniczą. W przypadku podchlorynu poziom pH ma wpływ na jego odparowanie.

Biodegradacja biocydów zależy od ilości substancji organicznej i nieorganicznej oraz od zdolności do biodegradacji samego biocydu. Duże populacje mikrobiologiczne, wzrost temperatury i duża zawartość tlenu w wodzie chłodzącej lub wodzie odbierającej wodę zrutową powodują wzrost biodegradacji. Woda powierzchniowa zawiera wiele rozpuszczonych substancji organicznych, które mogą absorbować biocydy powodując ich akumulację w osadach dennych. Ilość biocydów może być także zredukowana przez materię organiczną.

#### 3.4.2.4 Poziomy emisji

Trudno jest podać reprezentatywne poziomy stężenia biocydów w wodzie chłodzącej odprowadzanej do wód powierzchniowych. Podejmowano próby ilościowego określenia emisji substancji zawartych w wodach zrzutowych z systemów chłodzenia i opracowania odpowiednich modeli. Jednakże, ze względu na uwarunkowania lokalne żaden z modeli nie uwzględnia wszystkich aspektów sprawy. Konieczne jest przyjęcie wielu założeń, które, pomimo że dają pewne wskazówki, mogą z łatwością spowodować zawyżenie lub zaniżenie ilości biocydów trafiających do wód powierzchniowych. W załączniku IX przedstawiono przykład modelu obliczeniowego dla biocydów w otwartej mokrej wieży chłodniczej [tm004, Baltus and Berbee, 1996].

#### 3.4.2.5 Prawodawstwo

W wielu Państwach Członkowskich UE dopuszczalne emisje związków chemicznych występujących w wodzie chłodzącej są określone przez przepisy dotyczące zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Istniejące akty prawne zazwyczaj odnoszą się do strumieni zrzutowych z minimalną objętością (w m<sup>3</sup>/dzień). W prawodawstwie wielu państw (np. Włoch) wody powierzchniowe są sklasyfikowane i posiadają odmienny poziom dopuszczalnych zanieczyszczeń w wodach zrzutowych.

Wymagania dotyczące jakości wód zrzutowych nakładają określone limity na obecność w wodzie pewnych substancji chemicznych (np. związków chromu, cynku lub rtęci), co prowadzi do zmniejszenia ilości niektórych dodatków w wodzie chłodzącej.

Istnieją także ustalenia odnośnie wartości temperatury i wskaźnika pH dla dużych i małych objętości wód zrzutowych. Ogólnie, przez większą część roku temperatura nie może przekraczać temperatury maksymalnej. W niekorzystnych warunkach sezonowych, takich jak temperatury mokrego termometru sięgające 40°C w klimacie śródziemnomorskim, dopuszczalne są pewne wahania temperatury zrzutu.

Inne wymagania dotyczące składu chemicznego różnią się w zależności od danego Państwa Członkowskiego, ale wszystkie określają wymagania dotyczące stężenia adsorbowanych organicznych chlorowców (AOX), rozpuszczonego tlenu, biologicznego zapotrzebowania na tlen (BOD), chemicznego zapotrzebowania na tlen (COD), substancji chlorowanych i związków fosforu oraz śladowego wpływu na bakterie luminescencyjne. Niektóre akty prawne rozróżniają pomiędzy typami systemów chłodzących (z jednorazowym przepływem lub z recyrkulacją) albo rozważają charakterystyczne parametry pracy takie, jak np. uzdatnianie szokowe z udziałem substancji mikrobiologicznych.

W Holandii wysiłki na rzecz zmniejszenia zanieczyszczenia wody opierają się na wewnętrznych właściwościach substancji oraz na określeniu poziomu ryzyka. Aby umożliwić firmom i organom odpowiedzialnym za zbiorniki wodne jednoznaczne określenie zanieczyszczeń powstających na skutek uzdatniania i dodawania do wody substancji chemicznych, stworzono pewną ogólną metodę obliczeniową. Metoda ta oparta jest na prawie europejskim dotyczącym klasyfikacji, pakowania i oznaczania.



W zależności od właściwości substancji należy stosować najlepsze metody techniczne lub praktyczne (BTM lub BMP). Po zastosowaniu tych metod pozostała śladowa ilość zrzutowa jest odnoszona do docelowej jakości wody. Jeżeli pożądane wartości nie zostały uzyskane, sugerowane jest podjęcie dalszych kroków.

Postanowienia prawa europejskiego wpływające na zastosowanie dodatków chemicznych do uzdatniania można odnaleźć w:

- Dyrektywie Rady dotyczącej zanieczyszczeń spowodowanych przez pewne substancje niebezpieczne wprowadzone do środowiska wodnego (76/464/EWG),
- Projekcie dyrektywy dotyczącej wody,
- Dyrektywie dotyczącej preparatów chemicznych i
- Dyrektywie dotyczącej biocydów 98/8.

### 3.4.3 Redukcja emisji zanieczyszczeń do wód powierzchniowych

#### 3.4.3.1 Zarys ogólny

Technikami służącymi do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do wód powierzchniowych przez wodę chłodzącą są:

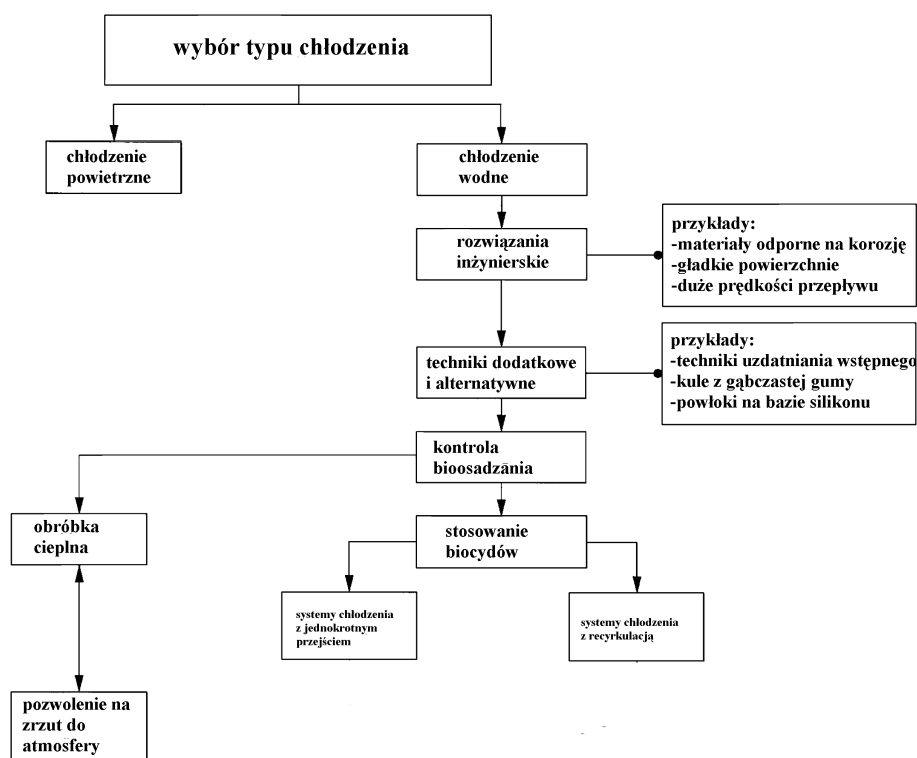
1. redukcja korozji urządzeń wchodzących w skład systemu chłodzenia
2. redukcja przecieków substancji procesowych do obiegu chłodzenia
3. stosowanie alternatywnych sposobów uzdatniania wody chłodzącej
4. wybór mniej niebezpiecznych substancji uzdatniających
5. optymalne stosowanie substancji uzdatniających wodę chłodzącą.

Zgodnie z dyrektywą na temat zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń (IPPC) redukcja emisji spowodowanej uzdatnianiem wody chłodzącej powinna zmierzać do zmniejszenia zapotrzebowania na uzdatnianie wody (zapobieganie) i wyboru optymalnego stosowania substancji uzdatniających (kontrola zanieczyszczeń) przy uwzględnieniu wymaganej maksymalnej wymiany ciepła. W celu zmniejszenia emisji substancji chemicznych niesionych przez wodę chłodzącą, stosowanych jest wiele możliwych rozwiązań. Rozwiązania w zakresie ograniczania zanieczyszczeń należy rozważać w określonej kolejności według wytycznych dotyczących oceny systemów chłodzących przedstawionych w rozdziale 1 oraz zgodnie z zapobiegawczym „podejściem” przewidującym zastosowanie BAT w przemysłowych systemach chłodzenia. W przypadku nowych systemów chłodzenia o dużych wydajnościach „podejście” jest ukierunkowane na zmniejszenie emisji do wód powierzchniowych [tm001, Bloemkolk, 1997].

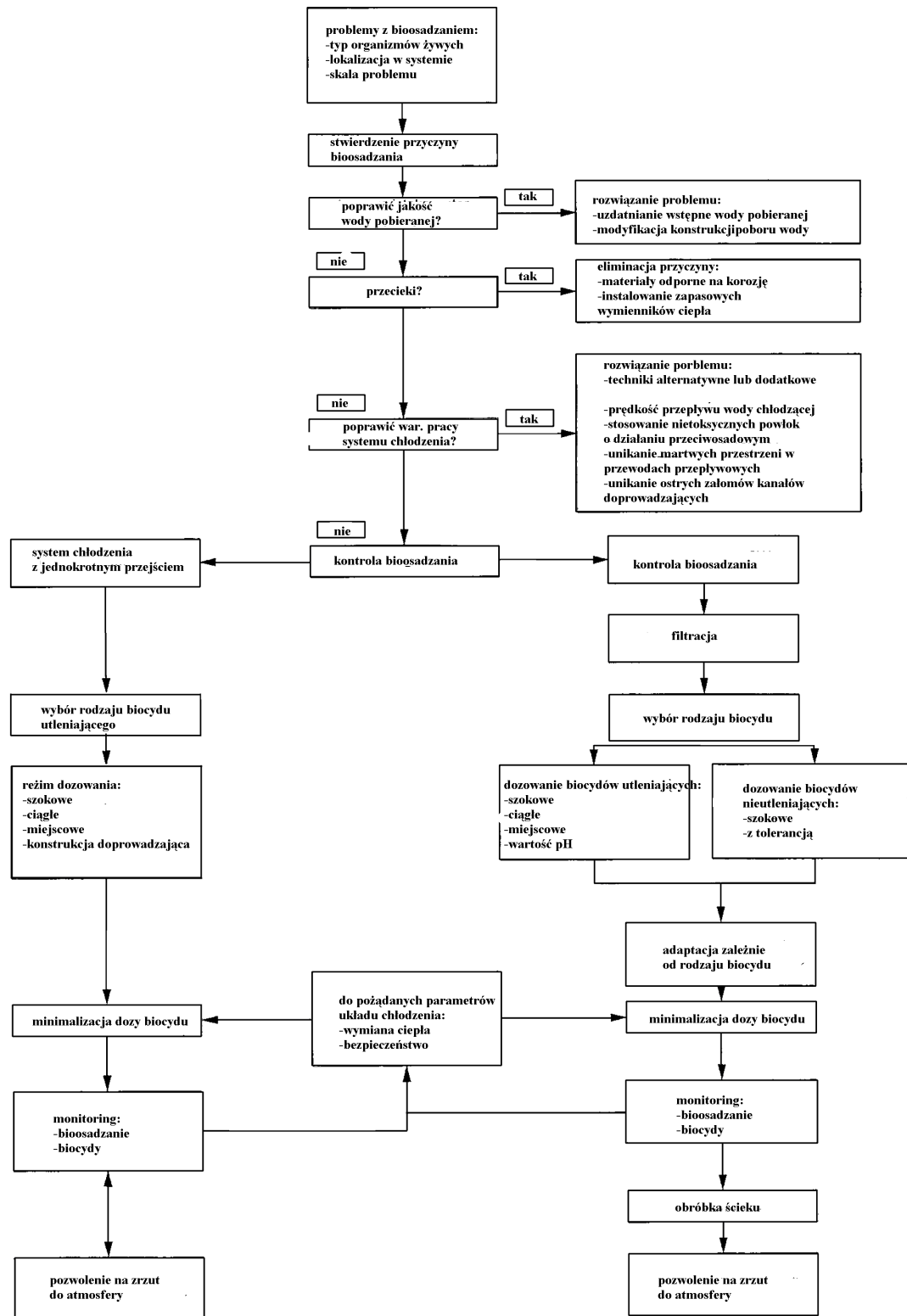
Opracowano także „podejście” do wyboru biocydów w nowych i istniejących systemach [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. Oba „podejścia” w mniejszym lub większym stopniu obejmują te same kroki postępowania zapewniające uwzględnienie wszystkich czynników istotnych przy zmniejszaniu ilości substancji uzdatniających. „Podejścia” te przedstawiono na rys. 3.2 i 3.3.

Istnieje wiele, często powiązanych ze sobą, możliwości optymalizacji zużycia biocydów. Przy ustalaniu schematu optymalizacyjnego korzystne jest zastosowanie ustrukturyzowanego „podejścia”. Przedstawione zostaną teraz zalecenia w formie dwóch diagramów, jednego dla systemu chłodzenia w fazie projektowej, a drugiego dla istniejącego systemu chłodzenia. Diagramy te krok po kroku przedstawiają „podejście” do optymalnego zużycia biocydów.

Rysunek 3.2 można opisać w sposób następujący [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. W fazie projektowania systemu chłodzenia należy podjąć decyzję o wyborze typu systemu. Jeśli ma być stosowane chłodzenie wodne, należy uwzględnić takie rozwiązania inżynierskie, które pozwolą ograniczyć powstawanie bioosadów. W fazie projektowej należy rozważyć takie ważne zagadnienia, jak: stosowanie odpowiednio dużych prędkości przepływu we wszystkich elementach systemu wody chłodzącej i łagodnych profili kanałów doprowadzających i wymienników ciepła. Będzie to redukowało osadzanie się mikroorganizmów odpowiedzialnych za tworzenie się bioosadu. Stosowanie nietoksycznych powłok zabezpieczających pozwoli na dalszą redukcję osadzania organizmów. Konstrukcja czepni wody powinna minimalizować przedostawanie się do systemu szczątków i organizmów żywych. Urządzenia filtrujące oraz zapory zatrzymujące zanieczyszczenia pozwolą na dalsze zmniejszenie ilości wciąganych substancji. Należy rozważyć stosowanie materiałów o wysokiej integralności. W przypadku wymienników ciepła może to być tytan (odporny na korozję, gładka powierzchnia). Hydrodynamiczne wloty i wyloty wymienników ciepła mogą być wykonane z tworzywa sztucznego umacnianego włóknem szklanym. Materiał ten może też być użyty do budowy rur i złączek w układzie. W fazie projektowej łatwo wprowadzić jest pewne rozwiązania takie, jak połączenia z urządzeniami do monitorowania parametrów chemicznych i biologicznych lub dozowania (np. specjalne punkty i urządzenia dozujące) lub bardziej złożone układy do oczyszczania mechanicznego np. sita na muszle czy układy kulowe z gąbczastej gumy. W niektórych przypadkach do kontroli bioosiadania może być stosowana obróbka cieplna i wtedy nie są potrzebne żadne biocydy. Aby możliwe było zastosowanie obróbki cieplnej w układzie, musi być zaprojektowany specjalny obieg. Pozostałe możliwości optymalizacji są podobne do tych stosowanych w systemach już istniejących.



**Rysunek 3.2: Schemat projektowy dla systemów z chłodzeniem wodnym z redukcją ilości stosowanych biocydów**  
[tm005, Van Donk and Jenner, 1996]



Rysunek 3.3: „Podejście” do redukcji zużycia biocydów w przemysłowych systemach chłodzonych wodą [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

Rysunek 3.3 pokazuje wszystkie kroki, które muszą być uwzględnione przy wyborze biocydów [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. W istniejących systemach chłodzenia wodnego ważne jest określenie populacji tworzącej bioosad i skali niebezpieczeństwa tworzenia się bioosadu. Warunkiem umożliwiającym to jest monitoring biologiczny.

Należy także uwzględnić i przeanalizować przyczyny problemu bioosadzania. Jakość wody chłodzącej może być polepszana przez uzdatnianie wstępne (np. mikro i makro filtrację). Można w ten sposób zmniejszyć ryzyko występowania bioosadu przez zredukowanie ilości dostających się do wody organizmów i substancji odżywczych. Jeżeli głównym powodem wzrostu biologicznego są przecieki cieczy procesowych, powinny być one usunięte, np. przez zastosowanie materiałów odpornych na korozję lub przez zainstalowanie zapasowych wymienników ciepła, które pozwalają na częstsze czyszczenie mechaniczne. W celu polepszenia warunków eksploatacji systemu, należy wziąć pod uwagę wszystkie zagadnienia wymienione w schemacie 1.

W systemach z jednorazowym przepływem, zanieczyszczenie makroorganizmami jest kontrolowane przez stosowanie obróbki cieplnej, bez dodawania do wody biocydów. Podchloryn sodowy jest najważniejszym stosowanym biocydem. Może być on dozowany w sposób szokowy lub ciągły. Strategia dozowania jako kontrola zanieczyszczeń makroorganizmami powinna mieć charakter prewencyjny, podczas gdy dawki zwalczające stosowane wtedy, kiedy stwierdzone zostało duże zanieczyszczenie makroorganizmami, wymagają większych dawek w ciągu dłuższych przedziałów czasu. Zaleca się, by dozy biocydu były ukierunkowane w miejsca z dużym ryzykiem osadzania takie, jak króćce wlotowe i wylotowe z wymienników ciepła. Monitoring chemiczny natomiast jest ważny w przypadku ustalenia wymaganej minimalnej dawki biocydu. Kiedy stężenie biocydów utleniających w systemie chłodzenia będzie małe, monitorowanie chemiczne będzie potrzebne do rejestracji efektywnego poziomu stężenia biocydu w newralgicznych punktach systemu chłodzenia. Urządzenia pomiarowe powinny być kalibrowane ręcznie przy pomocy testów kolorymetrycznych DPD. Pomiary stężenia biocydu oparte na jego toksyczności także mogą być przydatne w optymalizacji procesu. Urządzenia monitorujące osadzanie dostarczają informacji na temat rozwoju organizmów powodujących bioosad i charakterystyki programu kontrolującego zanieczyszczenie makroorganizmami. Informacja ta jest ważna dla programów optymalizacyjnych tworzonych dla biocydów w systemach z jednorazowym przepływem, w których występują te problemy.

W systemach otwartych z recyrkulacją zanieczyszczenie mikroorganizmami jest ważniejsze niż zanieczyszczenie makroorganizmami. Oznaczanie zawartości mikroorganizmów, takie jak metoda ATP i „technika zliczania jednostek przypadających na daną powierzchnię” dostarcza ważnych informacji na temat rozwoju i stanu populacji mikroorganizmów systemie chłodzenia wodą. Aby zapobiec wciąganiu organizmów i składników odżywczych razem z wodą chłodzącą, woda wlotowa może być poddawana uzdatnianiu wstępnemu (np. mikrofiltracji, wytrącaniu). Filtracja strumienia bocznego oraz ciągła częściowa filtracja wody recyrkulującej w układzie pomaga zmniejszyć ilość materii organicznej w wodzie chłodzącej. Dzięki temu ilość biocydu wymagana do właściwego uzdatniania wody jest także zmniejszana. Filtry strumienia bocznego powinny być zamknięte na czas dawkowania szokowego biocydu, aby zapobiec niepożądanemu zużyciu biocydu i niszczeniu populacji mikrobiologicznej na filtrze.

W systemach chłodzenia z recyrkulacją używane są biocydy utleniające i nieutleniające. W Holandii w około 90% systemów z recyrkulacją używa się podchlorynu sodowego. Biocydy nieutleniające są używane tylko tam, gdzie biocydy utleniające nie dają dostatecznej ochrony.

Minimalizacja zużycia jest uzyskiwana przez dawkowanie biocydów utleniających i nieutleniających w sposób nieciągły lub krótki, pomimo że w wielu przypadkach ciągle użycie halogenków w niskich stężeniach powoduje mniejsze zużycie substancji niż przy dawkowaniu szokowym. Redukuje to także ryzyko powiększania się tolerancji biologicznej na tę substancję. Optymalizacja zużycia biocydów nieutleniających wymaga zastosowania właściwych metod analizy chemicznej tych substancji. O możliwościach pomiaru biocydów wspomniano wcześniej. Biologiczne metody pomiarowe stężenia biocydów w wodzie chłodzącej mogą być także pomocne w systemach z recyrkulacją.

Jeśli to możliwe, zaleca się zamykanie lub zmniejszanie napowietrzenia podczas szokowego dawkowania zarówno biocydów utleniających, jak i nieutleniających ze względu na zmniejszenie zanieczyszczeń aktywnymi biocydami. Jest to szczególnie skuteczne w przypadku biocydów szybko reagujących i o działaniu dezintegracyjnym. Zaleca się także eksploatację systemów z recyrkulacją z użyciem podchlorynu przy wartościach pH na poziomie 8-9, w celu ograniczenia strat powodowanych odparowywaniem HClO w wieży chłodniczej. Doświadczenie pokazuje, że działanie takie niekoniecznie prowadzi do zmniejszenia efektywności działania biocydu, natomiast jest szczególnie istotne w przypadku ryzyka tworzenia się osadów.

Łączone użycie podchlorynu i bromku może być dobrą alternatywą w systemach chłodzenia słodką wodą i systemach z jednorazowym przepływem, gdyż wiele półproduktów reakcji np. bromowane aminy mają silniejsze działanie biocydalne niż ich chlorowane homologi, które także ulegają szybko rozkładowi.

W systemach recyrkulacyjnych z wodą wysokiej jakości rozwiązaniem może być stosowanie ozonu. W takim przypadku należy zwrócić uwagę na niebezpieczeństwo korozji. W niewielu doświadczeniach ze stosowaniem ozonu przeprowadzonych w Europie uzyskano pozytywne rezultaty. Na koniec, jako technikę pomocniczą stosowaną w systemach z recyrkulacją, należy wymienić promieniowanie UV. Jednakże, samo promieniowanie nie może usuwać organizmów osadzających się na powierzchniach elementów systemu chłodzenia. Aby było ono efektywne, woda chłodząca musi być stosunkowo przejrzysta, aby promieniowanie mogło penetrować przepływający strumień wody.

Przedstawione „podejście” może być podsumowane następująco:

1. Dostępność wody stanowi jeden z czynników decydujących o wybranej konfiguracji systemu chłodzenia (z jednorazowym przepływem, otwarte lub zamknięte mokre wieże chłodnicze lub wieże w układzie hybrydowym). Wybrana konfiguracja może z kolei mieć wpływ na sposób uzdatniania wody. Sposoby uzdatniania wody różnią się pomiędzy systemami z jednorazowym przepływem a otwartymi mokrymi wieżami chłodniczymi, np. w stosowaniu biocydów utleniających lub nieutleniających.
2. Po dokonaniu wyboru systemu (patrz rozdział 1), musi zostać dokonana całościowa ocena systemu tak, by dopasować do siebie wiele z przedstawionych poniżej możliwych czynników, które później będą wpływały na uzdatnianie wody chłodzącej:
  - Wybór materiału i obróbki powierzchni na wymienniki ciepła i armaturę;
  - Projekt systemu chłodzenia chroniący przed turbulencjami, osadami lub rozwojem muszli oraz pozwalający na uzyskiwanie wymaganych prędkości przepływu wody;
  - Poprawienie własności chemicznych wody przez obróbkę wstępną;
  - Mechaniczne czyszczenie systemu chłodzenia;

- Alternatywne metody uzdatniania takie, jak metoda termiczna, promieni UV lub filtracja strumienia wody.

W zależności od rezultatów dokonanej oceny mokry system chłodzenia może ciągle potrzebować pewnej ochrony przed osadami, korozją czy zanieczyszczeniami pochodzenia biologicznego. Zależy to od własności chemicznych wody chłodzącej oraz sposobów eksploatacji systemu takich, jak ilość cykli obiegu i wybrana konfiguracja chłodzenia.

Oczywiście w przypadku zamkniętego suchego obiegu chłodzonego powietrzem lub skraplaczy powietrznych nie jest potrzebne żadne uzdatnianie. Substancje chemiczne mogą zostać użyte do czyszczenia powierzchni zewnętrznych rur (ożebrowanych), ale nie przy ich eksploatacji.

Jeżeli zajdzie potrzeba uzdatniania wody chłodzącej, właściwy wybór techniki uzdatniania wody chłodzącej będzie zgodny z wymogami prawnymi odnośnie ochrony środowiska. Wymagania te mogą być następujące:

- Zakaz używania pewnych substancji do uzdatniania wody chłodzącej, np. chromu, związków rtęci, związków organicznych metali, azotków, merkaptobenzotiazoli;
- Ograniczenia ilościowe emisji nałożone na pewne substancje lub grupy substancji (np. cynku, fosforu, chloru oraz adsorbowanych organicznych chlorowców);
- Wymagania odnośnie minimalnego poziomu biodegradacji dla wszystkich czynników kompleksujących;
- Ograniczenia odnośnie toksycznego działania na ekosystemy,

Odpowiedni wybór substancji chemicznych używanych do uzdatniania wody chłodzącej dla nowych i istniejących systemów chłodzenia, w przypadku których stosowane jest przedstawione poniżej „podejście”, pozwoli na redukcję emisji związków chemicznych zawartych w wodzie chłodzącej:

1. określenie potrzeby stosowania uzdatniania po zastosowaniu innych fizycznych metod oczyszczania;
2. wybór wymaganego typu substancji uzdatniających;
3. ocena zagrożeń ekologicznych wynikających ze stosowania danych substancji;
4. tam gdzie jest to możliwe, należy stosować substancje, które mają niższy potencjał wpływu na środowisko.

### 3.4.3.2 Redukcja przez wybór materiału i konstrukcję systemów

W nowych systemach mogą być stosowane materiały i konstrukcje obniżające zużycie substancji uzdatniających. Do budowy urządzeń systemu chłodzenia używanych jest wiele różnych materiałów. Dostawcy sprzętu zazwyczaj oferują swój produkt w szerokim zakresie użytych metali i stopów tak, by umożliwić odbiorcy dopasowanie materiału do właściwości wody chłodzącej i warunków procesowych, w których układ ma pracować. W załączniku IV opisano wybór materiałów na budowę systemów z jednorazowym przepływem i otwartych systemów z recyrkulacją, które używają wody słonej lub wód słonawych (u ujść rzek). Należy pamiętać, że właściwości materiałów mogą być przeciwstawne, co może komplikować wybór materiału i wpływać na program uzdatniania wody chłodzącej. Np. zmniejszona korozyjność może iść w parze z wyższą wrażliwością na osad pochodzenia organicznego.



Właściwy projekt i konstrukcja systemu chłodzenia także może wpływać na stosowane substancje uzdatniające. Podczas montażu należy unikać niepotrzebnych wypukłości i grzbietów oraz nagłych zmian kierunku przepływu wody. Oba czynniki prowadzą do powstawania turbulencji i w miarę możliwości należy ich unikać, gdyż wywołują one korozję lub rozwój np. małż.

Eksploatacja systemu przy właściwej minimalnej prędkości wody nie tylko zapewnia wymaganą wydajność chłodzenia, ale też zmniejsza rozwój makroorganizmów i korozji materiału konstrukcyjnego.

Powłoki i farby stosowane są w celu zmniejszenia zaczepiania organizmów, ułatwiając przy tym przepływ wody i czyszczenie urządzeń. Takie farby antyosadowe mogą zawierać substancje toksyczne i dlatego dąży się do zastępowania ich nietoksycznymi odpowiednikami. Ich cena oraz możliwość zastosowania w środowisku wodnym różnią się w zależności od rozmiaru systemu chłodzenia i panujących w nim warunków. Np. w jednostkach stosunkowo małych stosowane są powłoki organiczne termicznie utwardzane na powierzchni. Są to powłoki proszkowe, które mogą być używane w środowisku wodnym i które nie zawierają substancji toksycznych, nie potrzebują użytkownika rozpuszczalników, a ich odporność na korozję w znaczący sposób wydłuża czas życia urządzeń.

W większych mokrych systemach chłodzenia stosowane są także powłoki, a doświadczenia w branży energetycznej pokazują, że muszą być one odnawiane co 4-5 lat. Przykład zastosowania powłok przedstawiono w załączniku XI.

Wcześniej stosowano farby zawierające substancje toksyczne, takie jak miedź czy TBTO (tributyloctlenek) stopniowo uwalniane z powłoki. Obecnie nie stosuje się już farb z zawartością trójbutyloctlenku (TBTO), szczególnie w dużych instalacjach w przemyśle energetycznym. Farby zawierające miedź mogą być wciąż jeszcze stosowane na ograniczoną skalę.

#### **3.4.4 Redukcja poprzez zastosowanie dodatkowego i alternatywnego uzdatniania wody chłodzącej**

W celu redukcji uzdatniania wody chłodzącej stosuje się wiele technik. Poniżej przedstawiono techniki redukujące zużycie biocydów [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]:

- Filtracja i techniki wstępne uzdatniania
- Czyszczenie w trakcie procesu
- Czyszczenie na końcu procesu
- Obróbka cieplna
- Powłoki i farby
- Promieniowanie ultrafioletowe (UV)
- Technologie dźwiękowe
- Szok osmotyczny.

Zasadą nadrzędną w przypadku tych technik jest polepszenie jakości biologicznej wody chłodzącej i utrzymywanie powierzchni elementów systemu chłodzenia (kanały doprowadzające i wymienniki ciepła) w jak największej czystości, czyli stworzenie środowiska, w którym ograniczony zostanie rozwój organizmów żywych. Stosowanie tych technik podsumowano w załączniku XI. Oczywiście niektóre z nich nie są jeszcze stosowane w praktyce lub wciąż jeszcze

są w fazie badań. Korzyści środowiskowe powinny być wyważone w stosunku do ograniczonego zużycia związków chemicznych.

Na przykład, działanie promieniowania UV wymaga relatywnie przejrzystej wody, podczas gdy technologia ozonowania i dźwiękowa będą wymagały dodatkowego nakładu energii. Obiecujące wyniki daje też uzdatnianie elektryczne wody chłodzącej stosowane w bardzo małych systemach chłodzenia ( $< 1 \text{ m}^3/\text{min}$ ) przy temperaturach rzędu  $30 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jest to nie-chemiczna metoda kontroli życia biologicznego, która jednakże wymaga dalszych badań.

Koszty mogą zależeć od wielkości systemu i stopnia zintegrowania zastosowanych technik z systemem chłodzenia.

Wstępne uzdatnianie wody dla mokrych systemów chłodzenia z recyrkulacją stosowane w celu zmniejszenia ilości dodawanych substancji uzdatniających może być traktowane tak samo, jak wstępna obróbka wody (patrz rozdział 3.3.1.2). Uzdatnianie wstępne ma wpływ na właściwości chemiczne wody chłodzącej taki, jak obniżenie zawartości soli, co wpływa na wymagany poziom zabezpieczenia przed korozją i osadami oraz na sposób eksploatacji systemu.

Jednakże zebrano mało informacji na temat wpływu uzdatniania wstępnego na zmniejszenie zużycia substancji uzdatniających. Natomiast technologia odwróconej osmozy dla obiegów zamkniętych i filtracja wody w otwartych systemach chłodzenia o dużych wydajnościach dała dobre rezultaty (załącznik XI). Podawano także informacje o niższych kosztach poboru wody, oczyszczania wody zrzutowej oraz dozowania inhibitorów korozji, osadów i środków dyspergujących. Nie była potrzebna przebudowa systemu chłodzenia.

### **3.4.5 Redukcja emisji zanieczyszczeń osiągnięta dzięki ocenie i odpowiedniemu wyborowi substancji uzdatniających do wody chłodzącej**

Po uwzględnieniu wszystkich rozwiązań technologicznych i eksploatacyjnych, kolejnym krokiem w stronę stosowania substancji o niższym potencjale szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne jest ocena i wybór substancji chemicznych do uzdatniania wody chłodzącej. W rozdziale 3.4.1, a szerzej w załączniku V, opisano teorię uzdatniania wody chłodzącej. Wybór odpowiedniego programu uzdatniania w konkretnym przypadku jest zawsze bardzo skomplikowany i zależy od uwarunkowań lokalnych. Należy wziąć pod uwagę szereg czynników takich, jak stosowany materiał do budowy instalacji, jakość wody i sposób eksploatacji. W rezultacie opracowano wiele możliwych kombinacji i różnych elementów, które są obecnie stosowane.

Właściwości substancji uzdatniających w obiegu chłodzącym są szacowane i bilansowane w stosunku do ich resztkowej reaktywności w ekosystemach wodnych po zrzuceniu wody chłodzącej do środowiska wodnego. Istotną kwestią jest tu wybór substancji aktywnej w systemie chłodzenia, ale nieszkodliwej po opuszczeniu systemu chłodzenia i dostaniu się do przyjmującego systemu wodnego.

Stosowanie różnych substancji chemicznych w różnych systemach chłodzenia zostało przedstawione w podanych źródłach. Okazuje się, że ich wpływ na środowisko naturalne jest skomplikowany i zależy od wielu różnych czynników. Przykłady pokazują jasno, że optymalna

eksploatacja redukuje wymaganą ilość substancji uzdatniających i często może prowadzić do zmiany stosowanych rodzajów tych substancji. (patrz punkt 3.4.6).

Ogólnie rzecz biorąc w państwach Unii Europejskiej ocena substancji chemicznych jest uważana za niezbędną i podjęte zostały próby rozwijania zintegrowanych technologii w celu zmniejszenia ich wpływu na środowisko. Pojawiają się jednak następujące trudności w skali krajowej i europejskiej:

- Istnieje wiele metod szacowania wpływu na środowisko dla różnych instalacji;
- Problemem (wciąż) jest dostęp do danych na temat substancji i składników preparatów;
- Wiele stron jest odpowiedzialnych za określenie wpływu na środowisko danych substancji;
- W wielu krajach nie jest jeszcze dobrze opisana ocena ryzyka związanego ze stosowaniem danych substancji chemicznych.

W celu kontroli stosowania pewnych substancji chemicznych i skłonienia do ich zastępowania alternatywnymi technikami w wielu Państwach Członkowskich UE wiedza na temat właściwości chemicznych stosowanych substancji musi zostać uwzględniona w wymaganiach prawnych dotyczących substancji uzdatniającej wodę chłodzącą. Jako przykład poniżej cytowane jest ustawodawstwo niemieckie.

Załącznik 31 do „Niemieckiej ustawy federalnej dotyczącej środowiska wodnego” (*German Federal Water Act*) dotyczący emisji wody chłodzącej stanowi przykład ustawodawstwa mającego na celu optymalizację użycia substancji uzdatniających do wody chłodzącej oraz zachowanie jakości wód powierzchniowych. Akt ten dotyczy wszystkich mokrych systemów chłodzenia, a rezultatem jego przyjęcia było ograniczenie użycia pewnych substancji takich, jak biocydy i inne.

Uregulowania są oparte na czterech kwestiach:

1. lista substancji zabronionych, która zawiera:
  - związki chromu
  - związki rtęci
  - związki organiczne metali (np. organiczne związki cyny)
  - merkaptanobenzotiazole
  - skomplikowane substancje organiczne, które nie podlegają łatwo biodegradacji
  - nie szokowe uzdatnianie przy pomocy substancji innych niż chlor, brom, ozon i  $H_2O_2$
2. ograniczenia w stosunku do pewnych substancji i grup substancji w strumieniu wodnym dotyczące:
  - dwutlenku chloru, chloru i bromków
  - adsorbowanych organicznych chlorowców
  - chemicznego zapotrzebowania na tlen
  - związków fosforowych (nieorganicznych i wszystkich fosfonowych)
  - cynku
3. wymaganie łatwej biodegradowalności wszystkich używanych substancji organicznych, gdzie stosowane wymaganie „łatwo ulega biodegradacji” jest zgodne z Ustawą o substancjach chemicznych i częścią C4 załącznika do dyrektywy 92/69 WE (31 lipiec 1992)

4. ograniczenie dotyczące wpływu toksycznego na ekosystemy biocydów obecnych w zrzucanej w wodzie chłodzącej nie zakazuje użycia tych substancji ponieważ uniemożliwiłoby to także zastosowanie środków bakteriobójczych. Jednakże mogą one być ważne dla eksploatacji i właściwego funkcjonowania otwartych i półotwartych systemów z wodą chłodzącą. Uregulowania wymagają informacji na temat poziomu i charakteru toksyczności, które muszą być przedstawione w sposób umożliwiający ich powielanie. Do wyrażenia toksyczności resztkowej w wodach zrzutowych w porównaniu z ich toksycznością w systemie chłodzenia używa się biotestów, np. w postaci współczynnika rozpuszczalności ( $T_L$ ).

Pomimo ograniczeń prawnych narzuconych na użycie pewnej liczby substancji chemicznych, duża ich ilość jest dostępna na rynku. Przy ich ocenie i wyborze wymagane jest wzięcie pod uwagę lokalnych uwarunkowań takich, jak charakterystyka eksploatacji systemów chłodzenia i wrażliwość środowiska, do którego kierowane są wody zrzutowe. Tłumaczenie poszczególnych krajowych aktów prawnych także nie odzwierciedlałoby w pełni ogólnych zastosowań w ramach podejścia poziomego.

Dlatego też jednym z możliwych rozwiązań zmniejszających szkodliwy wpływ wód zrzutowych na wody odbierające jest stosowanie substytutów charakteryzujących się niższym potencjałem oddziaływania na środowisko. W Holandii organy udzielające pozwoleń od ponad 20 lat stosują przepisy dotyczące korzystania z substancji zastępczych w procedurach przyznawania pozwoleń. Mniej lub bardziej administracyjne procedury nakładają na osoby, które już uzyskały pozwolenia, obowiązek składania podań o pozwolenie na używanie lub wymianę danych substancji. Przy rozważaniu tych podań organy udzielające pozwoleń korzystają z szeroko akceptowanej procedury. Oczekuje się, że w niedalekiej przyszłości przemysł i dostawcy substancji chemicznych stworzą samoregulujący się system. Rewizja systemu jest częścią adaptacji ogólnie przyjętej metodyki oceny i identyfikacji zagrożeń niesionych przez dane substancje chemiczne. Metodyka ta jest oparta na prawie europejskim o klasyfikacji, pakowaniu i oznaczaniu (67/548/EWG, 99/45/WE).

Generalnie ocena substancji uzdatniających do wody chłodzącej zachodzi w trzech etapach [Benschop (1998)]. Pierwszy etap to ocena właściwości wewnętrznych substancji. Substancje są oceniane na podstawie ich właściwości ekotoksykologicznych (kancerogenność, toksyczność w środowisku wodnym, biodegradowalność,  $\log P_{ow}$  i współczynnik biokoncentracji). Aby możliwa ocena danej substancji lub preparatu, konieczna jest znajomość tej substancji lub dokładny skład preparatu. Międzynarodowe programy przemysłowe (Odpowiedzialna eksploatacja, ICCA), prawo europejskie (dyrektywa o produktach biocydowych) oraz rozwój systemu zarządzania substancjami chemicznymi na poziomie UE przyczyniły się do większej dostępności danych na temat własności tych substancji.

Pierwszy etap to wskazanie potencjału zagrożenia, jaki reprezentuje sobą dana substancja uzdatniająca. Do oceny i wyboru danej substancji stosuje się test identyfikacji zagrożeń samej substancji i preparatów, w których ona występuje. Test ten został opracowany w Holandii ([tm070, Benschop, 1997] i [tm071, Niebeek, 1997]) i jest oparty w szczególności na dyrektywie o substancjach niebezpiecznych (67/548/EWG) i dyrektywie o produkcji substancji niebezpiecznych (88/379/EWG). Test skupia się na właściwościach ekotoksykologicznych substancji. Należą do nich mutagenność, kancerogenność, toksyczność i biodegradowalność,  $\log P_{ow}$  i współczynnik biokoncentracji. Jednakże czasem potrzebne są dane, które niełatwo zdobyć,

częściowo ze względu na zastrzeżone prawa, a częściowo, dlatego że nie zostały one jeszcze zebrane.

Aby porównać substancje uzdatniające z substancjami alternatywnymi, które w mniejszym stopniu oddziałują na środowisko oraz aby dokonać wyboru muszą istnieć wzorce substancji. W załączniku VIII.1 podano przykład, jak w miejscu pracy systemu chłodzenia stosować metodę porównawczą w celu uzyskania pierwszych wyników w określeniu wpływu na środowisko proponowanych alternatywnych substancji uzdatniających. Badania te są przeznaczone dla otwartych mokrych systemów chłodzenia z recyrkulacją (otwarte wieże chłodnicze). Polegają na obliczeniu „standardowego” wskaźnika PEC dla wstępnie liczonej wartości PEC w rzece. Jest to model uproszczony, który zakłada, że substancja uzdatniająca nie rozpuszcza się w wodzie rzecznej, przez co przeszacowuje się stężenie substancji w strumieniu rzeki. W modelu tym zakłada się także, że współczynnik PEC jest niezależny od wielkości fabryki i od warunków eksploatacyjnych, gdyż bierze on pod uwagę ilość substancji podawanej do systemu. Istotną kwestią jest także dostęp do środowiskowych norm jakości (EQS) dla substancji chemicznych możliwy jest dzięki ramowej dyrektywie wodnej.

Etap drugi obejmuje kroki optymalizacyjne w kierunku zmniejszenia zużycia wybranych substancji uzdatniających we wszystkich sposobach eksploatacji systemu (patrz następny punkt 3.4.6). Trzeci etap to szacowanie resztkowej emisji środków chemicznych niesionych z wodami zrzutowymi z systemu i odniesienie ich do wartości określonych ustawowo lub określonych normami jakości środowiska. Jeżeli wartości te nie są osiągalne, wskazuje się metody rozwiązania tego problemu. Gdy dostępne są alternatywne substancje uzdatniające można zrezygnować z pomiarów toksyczności dzięki zastąpieniu niebezpiecznych substancji bezpieczniejszymi.

Procedura oceny substancji uzdatniających w odniesieniu do uregulowań dotyczących substancji chemicznych opartych na wyżej wspomnianych dyrektywach UE niesie ze sobą następujące korzyści:

- możliwość identyfikacji substancji uzdatniających o mniejszym wpływie na środowisko i
- możliwość stwierdzenia czy spełnione są lokalne wymagania dotyczące jakości wody.

Jeśli powyżej opisana metoda (którą stosuje się ogólnie do substancji i związków) jest stosowana do biocydów, pierwszy etap natychmiast skutkuje potrzebą dokonywania dalszych pomiarów. W praktyce oznacza to prowadzenie badań nad programem optymalizacji zużycia i dawkowania biocydu. Etap drugi, który przebiega mniej więcej w tym samym czasie, co badania optymalizacyjne, obejmuje badanie przewidywanych efektów zastosowania danej substancji na lokalny ekosystem wodny.

Przy danej procedurze sprawdzone zostają trzy kryteria i, jeśli wszystkie są spełnione, należy rozpocząć kolejne działania w celu redukcji emisji zanieczyszczeń przez obróbkę wody zrzutowej lub/i zastąpienie jednej substancji uzdatniającej inną. W Holandii przewidywane stężenie biocydu jest porównywane ze stężeniem odpowiadającym tzw. współczynnikowi MARL (z ang. Maksymalny Dopuszczalny Poziom Ryzyka).

Dalsze pomiary powinny być stosowane, gdy:

1. stężenie biocydu w wodzie zrzutowej jest większe od wartości MARL, jeśli;
2. dodatkowe stężenie biocydu w wodzie powierzchniowej w pewnej odległości od wylotu przekracza stężenie MARL o X%, i jeśli;

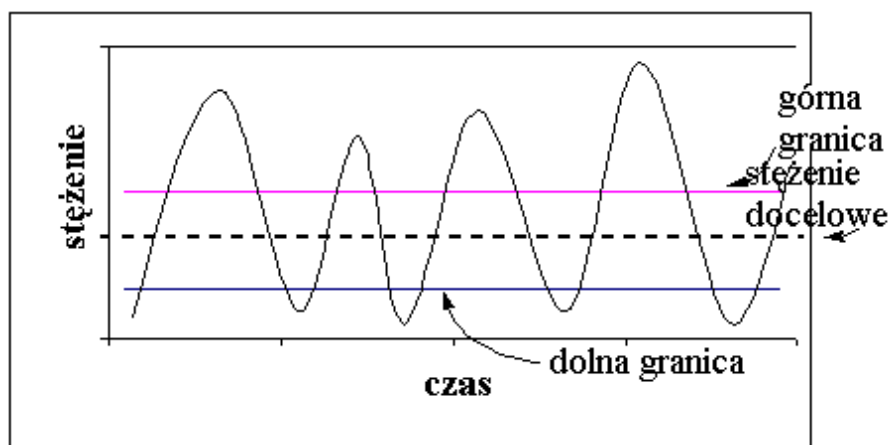
- całkowite stężenie biocydu w wodzie powierzchniowej w pewnej odległości od wylotu przekracza wartość stężenia MARL.

Wyżej opisana procedura została szczegółowo zilustrowana w załączniku VIII.2.

### 3.4.6 Optymalizacja zużycia substancji uzdatniających wodę chłodzącą

Optymalizacja zużycia substancji uzdatniających wodę chłodzącą oznacza także wybór najodpowiedniejszego zakresu dawkowania i obserwacji wpływu programu uzdatniania wody na emisję biocydu do wód powierzchniowych oraz na charakterystykę systemu chłodzenia w zakresie wymiany ciepła i bezpieczeństwa. Oczywiście obie techniki są ze sobą połączone, a ich stały monitoring stanowi warunek właściwego dawkowania.

Wybór zakresu dawkowania powinien być ukierunkowany na osiągnięcie wymaganego stężenia w wyznaczonym czasie bez zmniejszenia wydajności systemu chłodzenia. Za małe dawkowanie może spowodować korozję lub osady i zmniejszyć wydajność systemu chłodzenia, co także może prowadzić do pośredniego wpływu na środowisko. Przedawkowanie substancji chemicznych może natomiast spowodować osadzanie się kamienia na powierzchniach wymiany ciepła, wyższe poziomy emisji i wyższe koszty uzdatniania. Graficznie można to przedstawić jak na rysunku 3.4. W niewłaściwie zaprojektowanym systemie nie wzięto pod uwagę minimalnego stężenia biocydu wymaganego do zapobiegania gromadzeniu się osadów, więc możliwe jest ich pojawienie się. Jednocześnie przedawkowanie prowadzi do takich poziomów stężeń, które przekraczają maksymalne wymagane stężenie. W wyniku tego do środowiska przedostanie się nadwyżka substancji uzdatniającej.

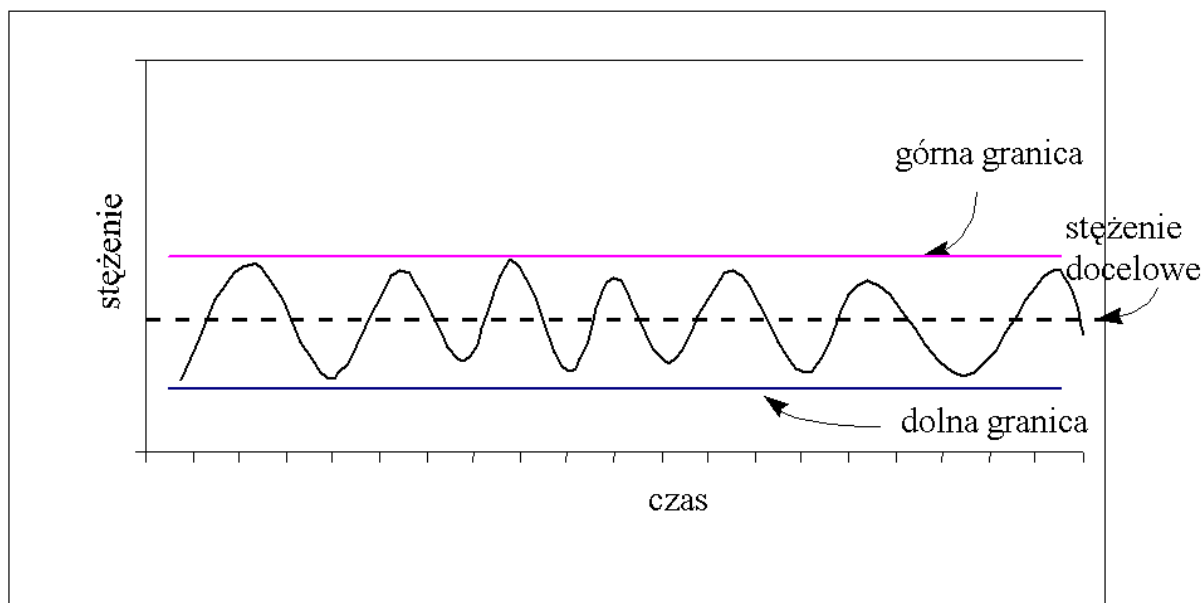


**Rysunek 3.4 Wykres przedstawiający stężenie substancji uzdatniającej wynikające z niewłaściwie prowadzonego monitoringu i dawkowania**

Określenie dawki docelowej (rysunek 3.5) na podstawie analizy jakości wody chłodzącej musi prowadzić do utrzymania minimalnego wymaganego poziomu stężenia, które daje ciągłą ochronę. Unikanie zwiększonych stężeń pozwala na zredukowanie emisji substancji do środowiska, co także redukuje koszty prowadzonego uzdatniania. Ze względu na to właściwie



obliczone dawkowanie powoduje zmniejszenie ilości substancji uzdatniającej i może być traktowane jako miara zwiększonej efektywności finansowej.



**Rysunek 3.5:** Wykres przedstawiający stężenie substancji uzdatniającej wynikające z właściwie prowadzonego monitoringu i dawkowania

### 3.4.6.1 Dawkowanie substancji uzdatniającej do wody chłodzącej

#### 3.4.6.1.1 Zakresy dawkowania

([tm010, Betz, 1991], [tm005, Van Donk and Jenner, 1996], [tm157, Jenner et al., 1998])

Dawkowanie substancji chemicznych do wody chłodzącej jest przeprowadzane następującymi sposobami (patrz także Załączniki V i XI):

- sposób ciągły
  - na końcu sezonu
  - okresowo podczas tworzenia się osadów
  - w niskich zakresach podczas tworzenia się osadów
- w sposób nieciągły (partiami)
- na sposób półciągły lub impulsowy
- w dawkach bardzo dużych lub szokowo, czyli gdy do wody chłodzącej podawane są naraz wielkie ilości substancji chemicznej.

Dawkowanie ciągłe jest praktykowane w systemach chłodzenia, gdzie pewne poziomy stężenia substancji uzdatniającej muszą być utrzymywane na tym samym poziomie. Lepsze systemy są zasilane proporcjonalnie do ilości uzdatnianej wody i wymagań chemicznych odnośnie danej substancji. Jest to sposób nadal stosowany w systemach z jednorazowym przepływem przede wszystkim jako zabezpieczenie przed korozją i rozwojem makroorganizmów. Jednakże doświadczenia pokazują, że zminimalizowane zużycie przez zmianę sposobu dozowania też może być efektywne.

Przy dawkowaniu czasowym związki chemiczne są podawane przy pomocy pompy podającej lub dyszy nastawnej albo ze zbiornika z podziałką. Dozowanie seriami jest stosowane w systemach chłodzenia, wannach utleniających i innych miejscach, gdzie objętość zrzucanej wody chłodzącej jest duża. W tych systemach ilość substancji chemicznej stanowi uzupełnienie materiału straconego lub zużytego. Jest to również stosowane tam gdzie wymagane jest jedynie dawkowanie okresowe. Dla przykładu substancje antymikrobiologiczne w systemach chłodzonych wodą są zazwyczaj podawane w sposób nieciągły. Dawkowanie seryjne może być używane w systemach z recyrkulacją i w systemach z jednorazowym przepływem. Nie może być natomiast używane w pojedynczych systemach z jednorazowym przepływem, gdyż tam potrzebne jest jednakowe stężenie.

Dawkowanie może też być wprowadzane w charakterystyczne miejsca systemu chłodzenia takie, jak króciec wlotowy wymiennika ciepła. Ważne jest by dawkowanie było tak rozłożone w czasie, by pokrywało się z sezonowymi zmianami rozwoju makrobiologicznego. Dawkowanie będzie także zależało od typu systemu chłodzenia. W systemach z recyrkulacją sposób eksploatacji systemu wpływał będzie na wielkość dawki i czas jej podawania. W systemie z jednorazowym przepływem miejsce i czas są ważne przy osiągnięciu maksymalnego efektu, ponieważ czas kontaktu związku chemicznego z wodą chłodzącą jest krótki.

W małych systemach dawkowanie jest dokonywane ręcznie, ale w dużych systemach istnieją zazwyczaj urządzenia automatyczne podłączone do systemu sterowania. Jak wspomniano wcześniej, istnieje tendencja do zlecania uzdatniania wody chłodzącej wyspecjalizowanym firmom. W przypadku dużych i złożonych instalacji z wieloma systemami chłodzenia wyspecjalizowana załoga jest ciągle na miejscu. W przypadku systemów mniejszych kontrola dzienna jest często przeprowadzana przez miejscową załogę i wspomagana przez regularne przeglądy przeprowadzane przez dostawcę.

Przy optymalizacji dawkowania można osiągnąć zmniejszenie zużycia biocydu. Sposób, w jaki biocydy są dawkowane zależy od działania i czasu życia biocydów, rodzaju i sezonowego wzrostu osadów pochodzenia makro i mikrobiologicznego, stanu rozwoju biologicznego w systemie chłodzenia, temperatury wody w systemie i ilości składników odżywczych w wodzie chłodzącej. Biocydy są podawane w stanie gazowym, ciekłym i stałym.

Dawkowanie może być ciągle lub szokowe. Autorzy niektórych z cytowanych opracowań są zdania, że dawkowanie ciągle powinno mieć miejsce w systemach z jednorazowym przepływem, aby zwiększyć czas kontaktu substancji antymikrobiologicznych przy małych dawkach tych substancji. Dawkowanie ciągle jest możliwe także w systemach z recyrkulacją, ale częściej stosowane jest w nich dawkowanie czasowe. Celem stosowania uzdatniania czasowego w tych systemach jest tworzenie wysokich stężeń substancji antymikrobiologicznych, które penetrują i niszczą biopowłokę i ewentualnie ją rozbijają. W porównaniu do uzdatniania ciągłego, uzdatnianie okresowe może prowadzić do niższych średnich rocznych stężeń w wodzie zrzutowej oraz do oszczędności finansowych, gdyż potrzebne są mniejsze ilości substancji. Pojawiły się także argumenty, że dawkowanie ciągle może spowodować zmniejszenie FO o ponad 40% w stosunku do dawkowania szokowego. Potrzeba jeszcze wiele badań na ten temat, gdyż ogólnie z punktu widzenia eksploatacji dawkowanie ciągle jest łatwiejsze do przeprowadzania niż szokowe lub czasowe. Te dwie metody wymagają zastosowania monitoringu w celu wyznaczenia najlepszego momentu do podania substancji uzdatniającej. Optymalizacja zakresu dawkowania musi iść w parze z wykluczeniem możliwych stanów awaryjnych.

W systemach z recyrkulacją stosowanie produktów złożonych z aktywnych mieszanek synergicznych może prowadzić do zmniejszenia stężeń uzdatniania w wodzie zrzutowej, jak też oszczędności finansowych. Biocydy o różnym spektrum mogą być dawkowane w połączeniu ze sobą, co poszerza zakres ich kontroli. Przy niezmienniej ilości stosowanych substancji antimikrobiologicznych efekt uzyskiwany dzięki mieszance może być większy od efektu uzyskiwanego przez zastosowanie jednej substancji uzdatniającej. Poprawia to znacznie wydajność układu lub pozwala na osiągnięcie efektu synergicznego z kombinacji niektórych substancji. Podawanie tych substancji nie musi być jednoczesne i możliwe jest uzyskiwanie podobnych rezultatów przy dozowaniu naprzemiennym. Innym efektem osiąganym, gdy dozowana jest więcej niż jedna substancja jest mniejsze ryzyko uodpornienia się mikrobow, ponieważ jest mało prawdopodobne, by mikroby mogły uodpornić się na dwie substancje jednocześnie. Należy wziąć pod uwagę wzajemne oddziaływanie różnych substancji w celu uniknięcia osłabienia działania jakiegokolwiek z biocydów i tworzenia się szkodliwych substancji w wodzie zrzutowej.

Cel uzdatniania biocydami może być różny. Zależnie od organizmów, przeciwko którym biocydy są stosowane i rozmiaru powstałego osadu pochodzenia biologicznego, uzdatnianie jest albo procesem zapobiegawczym albo zwalczającym. Biocydem, który został szczegółowo zbadany jest podchloryn sodu. Podawanie podchlorynu do systemu z jednorazowym przepływem pokazuje, że system chłodzenia będzie pracował jak reaktor rurowy z wieloma złożonymi reakcjami, które zachodzą pomiędzy podchlorynem a substancją organiczną. W przypadku typowego umiejscowienia systemów chłodzenia przy ujściach rzek lub na wybrzeżach w wyniku tych reakcji wejściowa dawka 1,5 – 3 mg  $\text{Cl}_2/\text{l}$  będzie prowadzić do 0,25 – 0,35 mg/l TRO na wylocie wymiennika. Oznacza to 4 – 8 minutowy czas reakcji. W celu zmniejszenia dawki podchlorynu stosowane jest chlorowanie pulsacyjne© (załącznik XI.3.3.2.1 i X.3.3.2.1).

#### **3.4.6.1.2 Systemy dozowania** ([tm010, Betz, 1991])

Na rynku istnieje wiele systemów dozowania, wśród których należy wyróżnić te dla podawania ciekłych i suchych substancji chemicznych. Do podawania ciekłych substancji chemicznych używane są pompy dozujące, pompy nurnikowe i pompy membranowe. Do podawania suchych substancji chemicznych stosowane są podajniki dozujące objętościowe (do rozproszenia materiału proszkowego), podajniki grawimetryczne (proporcjonalnie do ciężaru) i podajniki z rozpuszczaniem (podawanie do zbiornika mieszającego). W sprawozdaniach nie podano czy i w jaki sposób różne systemy dozowania rzeczywiście zmniejszają zużycie substancji uzdatniających. Nie ulega wątpliwości, że odpowiednia konserwacja systemu i jego kalibracja poprawiają dokładność dozowania. Ilość, miejsce i czas dozowania mogą być właściwie kontrolowane przy pomocy odpowiedniego monitoringu wodnego systemu chłodzenia.

#### **3.4.6.2 Monitoring wody chłodzącej**

Monitoring zapotrzebowania na środki chemiczne do uzdatniania wody chłodzącej jest ważny przy zmniejszaniu ich zużycia i emisji do środowiska, szczególnie do wód powierzchniowych. Może on być uznany za opłacalną metodę, tam gdzie oczyszczanie wody zrzutowej, jeśli w ogóle jest możliwe, będzie ogólnie bardziej kosztowne.

Należy rozróżnić monitoring stosowania biocydów od monitoringu nastawionego na inne substancje chemiczne uzdatniające (inhibitory przeciwdziałające powstawaniu osadów, korozji i rozpraszacze), ponieważ w przypadku rozwoju makroorganizmów ważnym dodatkowym czynnikiem jest monitoring zachowania się organizmów żywych występujących w układzie chłodzenia.

#### **3.4.6.2.1 Monitoring inhibitorów przeciwdziałających powstawaniu osadów i korozji oraz rozpraszaczy**

([tm067, Hoots et al., 1993])

Stosowanie inhibitorów chemicznych i optymalizacja ich zużycia jest skomplikowanym problemem specyficznym dla poszczególnych sytuacji. W każdym przypadku musi być zachowana równowaga pomiędzy wieloma czynnikami:

- jakość wody chłodzącej i opcje uzdatniania wstępnego (zmiękczenie, filtracja), która zależy z kolei od wymaganego przepływu;
- potrzeba zmniejszenia ilości wody przez wzrost ilości cykli a wzrost problemów z osadami ze względu na zwiększone stężenie różnych substancji w wodzie;
- temperatura wody chłodzącej a rozpuszczalność soli;
- reakcje zachodzące pomiędzy substancjami uzdatniającymi.

W systemach chłodzenia z recyrkulacją stosowanych jest wiele metod kontroli produktów powstałych na skutek podawania do wody inhibitorów. W pracy [tm067, Hoots et al., 1993] rozróżniono następujące techniki stosowane do systemów wody chłodzącej:

- ręczne sprawdzanie i regulacja
- upuszczanie i podawanie (podawanie do wody zrzutowej)
- obiegi z kontrolowaną ilością wody
- analizator chemiczny (mikroprocesorowy)
- fluorescencja

Każda z wymienionych metod posiada wady i zalety. Zasada optymalizacji przedstawiona na rysunku 3.5 nie musi zostać osiągnięta. Różne techniki monitorowania różnią się dokładnością podawania dawek. W jak największym stopniu powinno się unikać różnic w wielkości dawki, które nie są związane z czasowymi fluktuacjami w systemie chłodzenia. Różnice takie mogą prowadzić do za małej lub za dużej ilości substancji doprowadzonej do systemu.

Różnice w dawkach mogą wystąpić z wielu powodów, jak np.:

- niewystarczająca uwaga obsługującego układ
- wyposażenie cechuje niska niezawodność
- pomiar stężenia substancji wykonuje się w sposób pośredni
- pomiar złej wielkości
- odstęp czasu pomiędzy pomiarami a regulacją podawania jest zbyt duży
- niska powtarzalność metody pomiarowej
- wahania wydajności chłodzenia i jakości wody uzupełniającej.

Z doświadczenia wynika w sposób oczywisty, że najlepszy monitoring i najlepsze systemy dozowania mierzą bezpośrednio stężenie substancji chemicznej w wodzie chłodzącej i mają

krótszy czas pomiędzy pomiarami a regulacją dozowania. Systemy kontroli powinny nadążać za zmianami w wydajności chłodzenia i zmianami jakości wody uzupełniającej (załącznik XI).

#### 3.4.6.2.2 Monitoring osadów pochodzenia biologicznego

([tm005, Van Donk and Jenner, 1996]) i ([tm087, Engstrom and Tully, 1994])

Monitoring osadów pochodzenia biologicznego jest oparty na monitorowaniu aktywności mikrobiologicznej w systemie chłodzenia oraz na rzeczywistych poziomach stężenia mikrobiocydów. Kluczem do pomiaru efektywności każdego programu stosowania biocydu jest możliwość szybkiego i prawidłowego pomiaru aktywności mikrobiologicznej w systemie chłodzenia.

W celu określenia dobrego zakresu dawkowania w systemach z jednorazowym przepływem sugeruje się, co następuje:

- określić problem analizy i wyznaczyć organizmy, na które mają zadziałać biocydy
- scharakteryzować sezonowe różnice w aktywności (np. czas rozmnażania się małż)
- wziąć pod uwagę temperaturę wody i jej jakość (słodka/słona)
- wybrać program dozowania (np. miejscowo na sekcję: ciągły lub okresowy)
- zdecydować o wielkości dawek, która w połączeniu z systemem monitorowania pozwoli na zmniejszenie konsumpcji danej substancji
- zdecydować o programie kontroli (zbiornik identyfikujący małże (określenie czasu rozmnażania) lub kontrola małż/ostryg (oznaczenie koncentracji)

Podobna strategia może być stosowana w przypadku mokrych systemów z recyrkulacją. Jednakże program dawkowania substancji uzdatniających używanych w wieżach chłodniczych uwzględnia także zapotrzebowanie na inhibitory chemiczne, co sprawia, że uzdatnianie staje się bardziej złożonym problemem. Dodatkowym efektem jest eksploatacja przy zwiększonej liczbie cykli, co z jednej strony oszczędza wodę, ale z drugiej zwiększa prawdopodobieństwo osadzania i korozji oraz potrzebę zastosowania odpowiednich substancji uzdatniających. W takiej sytuacji oczywistym wyborem będą materiały mniej wrażliwe na korozję już w fazie projektowej nowych instalacji. Mogą one zredukować zapotrzebowanie na inhibitory (patrz 3.4.3.2) umożliwiając eksploatację bez dodatku złożonych czynników przyczyniając się tym samym do zmniejszenia kosztów.

Zarówno w przypadku nowych, jak i istniejących już systemów chłodzenia ważne jest by ustalić powód powstawania osadu pochodzenia biologicznego (np. przeciek) i określić występujące organizmy przed podjęciem decyzji o wyborze biocydu.

W systemach z jednorazowym przepływem najważniejsze jest osadzanie się makroorganizmów. Warunkiem wstępnym do uzdatniania biocydami jest kontrola osadu pochodzenia biologicznego. Jest ona istotna, ponieważ umożliwia ustalenie minimalnej wymaganej dawki biocydu oraz pomaga w optymalnym dawkowaniu substancji oraz dostarcza informacji na temat osadzania się i rozwoju organizmów tworzących osady oraz wpływa na wydajność programu kontroli wzrostu bioosadu.

Najlepszym sposobem dawkowania biocydu jest chlorowanie pulsacyjne<sup>©</sup>, które bierze pod uwagę zmiany czasu przebywania na różnych etapach prowadzonego procesu. Wymagana ilość

chloru jest podawana do strumienia wody chłodzącej w różnych punktach i o różnym czasie w trakcie trwania procesu. Przy końcu procesu, a przed zrzutem wody chłodzącej, następuje rozcieńczenie strumienia spowodowane zmieszaniem strumieni wody pochodzących z różnych procesów. Jeśli tylko jeden strumień jest chlorowany, a drugi nie, całkowita śladowa ilość utleniacza zmniejsza się i możliwe jest osiągnięcie poziomu emisji rzędu  $< 0,1$  mg/l (patrz załącznik XI).

W przypadku otwartych systemów z recyrkulacją osad spowodowany mikroorganizmami jest ważniejszy niż ten spowodowany obecnością organizmów większych. Ponieważ ilość wody używanej do uzupełnienia jest dużo mniejsza, zarówno uzdatnianie wstępne, jak i filtracja części wody cyrkulującej w obiegu może chronić przed przedostawaniem się do systemu mikroorganizmów. W przypadku dawkowania szokowego biocydów systemy z recyrkulacją mają tę zaletę, że system może być czasowo zamknięty umożliwiając w ten sposób rozpoczęcie działania biocydów, a przez to obniżenie stężenia tych substancji przed ich zrzutem do otoczenia. Ponadto w przypadku systemów z recyrkulacją kontrola osadów pochodzenia biologicznego jest warunkiem określenia optymalnego zużycia biocydów.

### 3.5 Użycie powietrza jako czynnika chłodzącego i emisja zanieczyszczeń do powietrza

#### 3.5.1 Wymagania dotyczące powietrza

Użycie powietrza jako zasobu nie wpływa bezpośrednio na środowisko i nie jest traktowane jako prawdziwe zużycie. Powietrze jest wykorzystywane we wszystkich systemach z wyjątkiem systemu z jednorazowym przepływem. W mechanicznych wieżach chłodniczych zapotrzebowanie na powietrze jest związane z zapotrzebowaniem na energię do napędu wentylatorów.

**Tabela 3.9: Średnie zapotrzebowanie na powietrze dla różnych systemów chłodzenia [tm134, Eurovent,1998]**

System chłodzenia	Strumień powietrza (%)
z jednorazowym przepływem	0
otwarta mokra wieża chłodnicza	25
otwarte mokre/suche (hybrydowe) chłodzenie	38
wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	38
chłodzenie w obiegu zamkniętym mokre/suche	60
suche chłodzenie powietrzne obiegu zamkniętego	100

Im wyższe zapotrzebowanie na strumień przepływającego powietrza, tym wyższa jest wymagana wydajność wentylatorów, co w konsekwencji podnosi zużycie energii i zwiększa poziom emitowanego hałasu. W tabeli 3.9 porównano wymagania odnośnie zapotrzebowania na powietrze dla różnych systemów chłodzenia. Przepływ powietrza jest silnie związany z



odniesionymi do siebie jawną i niejawną wymianą ciepła (załącznik I). Chłodzenie suche wymaga więcej powietrza niż chłodzenia mokre.

W niektórych charakterystycznych obszarach (np. obszarach mocno uprzemysłowionych) problemem może być jakość powietrza, ponieważ substancje wchodzące w skład powietrza mogą powodować korozję rurek (ożebrowania) lub węzownic lub tworzenie się osadów na powierzchniach, co powoduje obniżenie efektywności wymiany ciepła. Wstępne oczyszczanie powietrza chłodzącego wydaje się być nierealne i nie ma na ten temat żadnych informacji. W rezultacie konieczne może być czyszczenie powierzchni wymiennika ciepła i/lub uzdatnianie wody chłodzącej w zależności od składu chemicznego powietrza.

Z drugiej strony, otwarte mokre wieże chłodnicze czasem spełniają podobną funkcję jak urządzenia oczyszczające powietrze przez usunięcie z niego wielu zanieczyszczeń. Może to wpływać na uzdatnianie wody chłodzącej i eksploatację systemu chłodzenia, choć nie zebrano na ten temat żadnych danych.

### 3.5.2 Bezpośrednia i pośrednia emisja zanieczyszczeń

Emisje zanieczyszczeń do powietrza powstające przy eksploatacji przemysłowych systemów chłodzenia mogą być bezpośrednie i pośrednie. Emisja pośrednia powstaje podczas procesu produkcyjnego na skutek niewłaściwego chłodzenia. Dzieje się tak, ponieważ niewystarczające chłodzenie wymaga większego zużycia źródeł (takich jak źródło energii), aby skompensować straty w produkcji lub zmniejszoną wydajność procesu.

Emisja zanieczyszczeń do powietrza powstająca w mokrych wieżach chłodniczych nabiera szczególnego znaczenia w bezpośredniej bliskości obszarów zurbanizowanych. W porównaniu z zanieczyszczeniami powietrza ze strony procesu przemysłowego, w którym stosuje się chłodzenie, emisje te można uważać za stosunkowo małe. Problemy, które mogą się pojawić w trakcie eksploatacji to:

1. krople wody, które mogą zawierać niektóre substancje stosowane do uzdatniania wody;
2. w przypadku niewłaściwego uzdatniania wody biocydami i złej konserwacji wieży chłodniczej może dochodzić do rozwoju bakterii (choroba Legionistów) (punkt 3.7.3).

Zamknięte i otwarte, mokre lub mokre/suche wieże chłodnicze z recyrkulacją mogą emitować zanieczyszczenia poprzez unoszenie i ulatnianie się substancji chemicznych przeznaczonych do uzdatniania wody, a w szczególności biocydów. Wiadomo, że ulatnianie się substancji chemicznych, zwane również „flash-off”, rośnie wraz ze wzrostem temperatury, ale mechanizm, który prowadzi do emisji zanieczyszczeń jest bardziej złożony i zależy od wielu czynników. W związku z tym jest ono trudne do ilościowego określenia i brak jest danych dotyczących emisji.

Odkraplacze są uważane za ważne urządzenia ograniczające emisje zanieczyszczeń. Wszystkie mokre wieże chłodnicze są wyposażone w te urządzenia, choć wiadomo, że tylko mała część cyrkulującej wody może być stracona w postaci kropeł. Te krople, które zawierają rozpuszczone cząsteczki substancji chemicznych, osiadają na elementach przy wylocie powietrza i mogą powodować powstawanie plam i osadów na powierzchniach konstrukcyjnych [tm046, Vanderheyden and Schuyler, 1994]. Znane są przypadki, w których stwierdzono emisję chromu, ale w wielu Państwach Członkowskich UE zabroniono używania chromu ze względów ochrony

zdrowia i środowiska naturalnego; odnotowano także pewne problemy techniczne związane z użyciem chromu.

Jakość i ilość bezpośredniej emisji zanieczyszczeń z wież chłodniczych jest specyficzna dla każdego przypadku i zależy od substancji uzdatniających, ich stężenia w cyrkulującej wodzie i efektywności odkraplania. Standardowe odkraplacze obecnie stosowane w mokrych wieżach chłodniczych pozwalają ograniczyć unoszenie wody do 0,01% lub mniej w stosunku do całego przepływu. Podjęta została próba oszacowania emisji zanieczyszczeń przy pomocy modelu uproszczonego [tm046, Vanderheyden and Schuyler, 1994]. Z uzyskanych danych wynika, że stężenia emisji są niskie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ale nie mogą lekceważone oraz że konstrukcja i umiejscowienie wylotu z wieży chłodniczej są ważne przy unikaniu wlotów powietrza z systemów klimatyzacyjnych lub innych instalacji chłodzących.

Obecnie nie istnieją znormalizowane metody obliczenia strat przez unoszenie (i zanieczyszczenie środowiska) dla danych konfiguracji wieży chłodniczych. Istnieją dwie metody sprawdzania strat spowodowanych unoszeniem dla danej konfiguracji (nie publikowane):

- metoda izokinetyczna (metoda IK)
- pomiar wrażliwości powierzchni na prądy (metoda SS)

Obie metody mają wady i zalety. Zaletami metody IK są:

1. wysoka sprawność zatrzymywania wszystkich rozmiarów kropeł,
2. możliwa analiza elementów charakterystycznych,
3. dostarczanie całościowej próbki z obszaru wylotowego.

Wady metody IK to:

1. elementy pochodzące z powietrza mogą dawać wyniki z błędem systematycznym
2. długie czasy próbkowania wymagane dla wysokiej sprawności odkraplaczy lub niskich stężeń substancji mineralnych.

Istnieje opis testu zawierający wskazówki jak przeprowadzić takie badanie (CTI-140).

Metoda SS ma następujące zalety:

1. dotyczy rozmiarów kropeł powyżej 30  $\mu\text{m}$ ,
2. jest odporna na składniki pochodzące z powietrza,
3. dostarcza relatywnej oceny sprawności (efektywności) odkraplacza,

Wady metody SS to:

1. mała sprawność wychwytu kropeł poniżej średnicy 30  $\mu\text{m}$ ,
2. nie można dokonać rozróżnienia pomiędzy kondensacją pary wodnej a unoszeniem kropeł
3. przy pewnych składnikach niemożliwa jest analiza kropeł.

Odnotowano wypadkową emisję zanieczyszczeń w postaci cząsteczek azbestu podczas demontażu starych wież chłodniczych, w których używano cementu z azbestem, która wymaga wyspecjalizowanych metod pomiarowych. Autorzy raportu [tm028, Mittendorf, 1990] dotyczącego redukcji emisji azbestu w czasie rozbiórki starych wież skupili się na zabezpieczeniach przeciwko bezpośredniej inhalacji cząstek azbestu. Po tym jak w UE zabroniono użycia azbestów i tym podobnych materiałów w nowych lub niedawno budowanych wieżach nie stosuje się azbestu. Może on się natomiast znajdować w wieżach budowanych 20 lat temu lub dawniej.

Nie otrzymano żadnych sprawozdań na temat metod obniżania emisji na wieżach chłodniczych i wydaje się, że metody takie nie są stosowane. Znając źródło powstawania możliwych zanieczyszczeń i sposobu ich transportu można wysnuć następujące wnioski:

- redukcja zanieczyszczeń emitowanych przez wieże chłodnicze do atmosfery jest dodatnio skorelowana z metodami zmniejszenia poboru wody, a w szczególności ze stosowaniem odkraplaczy,
- redukcja zanieczyszczeń powietrza jest dodatnio skorelowana ze zmniejszeniem zapotrzebowania na uzdatnianie wody chłodzącej i
- redukcja zanieczyszczeń emitowanych przez wieże chłodnicze do powietrza jest dodatnio skorelowana z optymalizacją uzdatniania wody chłodzącej (optymalizacja eksploatacji systemu).

### 3.5.3 Opary

#### 3.5.3.1 Powstawanie oparów

Tworzenie oparów to ważny problem w przypadku otwartych i zamkniętych mokrych wież chłodniczych, jeśli powietrze opuszczające wieżę ma dużą zawartość wilgoci i mieszając się z powietrzem atmosferycznym zaczyna się schładzać. Podczas tego procesu nadwyżka pary wodnej, która została zaabsorbowana kondensuje się. Chociaż dzieje się tak w przypadku prawie 100% pary wodnej, ograniczenie widoczności może stanowić problem szczególnie przy dużych wieżach (przemysł energetyczny, chemiczny). Na kształt i objętość widocznej chmury oparów ma wpływ temperatura i wilgotność względna powietrza atmosferycznego, a także prędkość wiatru. Im zimniejsze i bardziej wilgotne jest powietrze otaczające, tym bardziej trwała jest chmura oparów. Problem ten może pojawić się zatem w klimacie umiarkowanym i chłodniejszym w Europie i głównie w zimie. Szczególne nasilenie formowania się oparów przy dużych instalacjach (elektrownie) może także spowodować mgłę na poziomie gruntu w przypadku niskich wież (40-50 metrów). Stwierdzono też, że wynikiem tworzenia się dużej ilości oparów i skraplania w ekstremalnych warunkach atmosferycznych może być lodzenie dróg.

#### 3.5.3.2 Zmniejszanie ilości oparów

[tm101, BDAG, 1996], [tm123, Alt and Maule, 1987]

Zmniejszanie ilości oparów jest zintegrowanym działaniem technologicznym związanym ze zmianami w konfiguracji systemu chłodzenia. Tworzeniu się oparów zapobiega suszenie wilgotnego powietrza zanim opuści ono wieżę chłodniczą przez zmieszanie go z pewną ilością podgrzanego suchego powietrza. Specjalnie do tego projektowane są otwarte hybrydowe (lub mokre/ suche) wieże chłodnicze oraz zamknięte mokre/suche wieże chłodnicze (lub urządzenia do chłodzenia wtórnego). (patrz rozdział 2.6).

W zależności od warunków klimatycznych i wymagań procesowych wieża może być chłodzona powietrzem. Utrzymuje się, że w warunkach klimatycznych panujących w Europie północnej tylko 20% całego ciepła musi być wymienione w części suchej wieży chłodniczej tak, by pracowała ona bez tworzenia się oparów niezależnie od warunków atmosferycznych. W pewnych warunkach, takich jak niska temperatura otoczenia i niska wydajność chłodzenia, wieża może pracować tylko na sucho. W przepisach czasem istnieje rozróżnienie między eksploatacją

dzienną a eksploatacją nocną i dopuszczane jest mokre chłodzenie w nocy (z formowaniem się oparów). W dzień natomiast wieża musi być eksploatowana w trybie hybrydowym zapobiegającym tworzeniu się oparów. (patrz również rozdział 2).

## 3.6 Emisja hałasu

### 3.6.1 Źródła hałasu i poziomy hałas.

Emisje hałasu są ważne na poziomie lokalnym. Emisje hałasu z kompleksów przemysłowych pochodzą z różnych źródeł wytwarzających hałas, a procedury udzielania pozwoleń obejmują także hałas pochodzący z systemu chłodzenia. W konsekwencji hałas pochodzący z systemów chłodzenia i potencjalne koszty związane ze sposobami zapobiegania powinny być oceniane łącznie z całościową emisją hałasu powstającą w danym miejscu. Emisja hałasu jest ogólnie problemem powstającym zarówno przy eksploatacji wież chłodniczych z przepływem wymuszonym mechanicznie, jak i wież mokrych z grawitacyjnym przepływem powietrza. Informacje na temat parametrów i obliczeń emisji hałasu pochodzącego ze źródeł dźwięków w systemie chłodzącym można znaleźć w dyrektywie VDI 3734 lub w niemieckich normach VGB stworzonych dla systemów chłodzenia w elektrowniach [tm158, VGB, 1998].

Trzy główne źródła hałasu w tych systemach chłodzących to:

- wentylatory (wirnik, przekładnie, napęd) – wszystkie wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym;
- pompy – wszystkie systemy z wodą chłodzącą;
- kropelki cieczy padające na powierzchnię wody zebraną w zbiornikach wodnych – tylko w mokrych wieżach chłodniczych.

Wytwarzanie hałasu może być bezpośrednie lub pośrednie. Dźwięk jest bezpośrednio wytwarzany przez:

- czerpanie powietrza
- wyrzutnie powietrza

Źródła pośrednie to:

- silniki napędowe wentylatorów
- osłony wylotowe z wentylatorów i okładziny w wieżach chłodniczych (w przypadku konstrukcji betonowych nie stwierdzono żadnych dodatkowych źródeł hałasu).

Na hałas pochodzący z suchych wież chłodniczych wpływają głównie zastosowane urządzenia mechaniczne i sposób ich eksploatacji. W przypadku, gdy obniżanie poziomu hałasu daje znaczne obniżenie poziomu hałasu generowanego przez urządzenia, przeważającym źródłem emisji może stać się hałas z rur w wymiennikach ciepła lub skraplaczach oraz z wężownic.

W mokrych wieżach chłodniczych hałas powstaje tylko w wyniku spadania kroplek wody (przy ciągu naturalnym) lub opadania kroplek i pracy wyposażenia mechanicznego. Ogólnie niczym nietłumiony hałas pochodzący od wentylatorów jest dominujący w porównaniu z hałasem generowanym przez opadające krople. Odnotowano, że emisja hałasu nie zależy od wielkości mokrych wież chłodniczych. Kiedy hałas związany z przepływem powietrza zostaje wytłumiony, dominujący może się stać hałas związany z przepływem wody i należy zastanowić się nad sposobami jego tłumienia.

Na temat średnich i dużych wież chłodniczych eksploatowanych w elektrowniach i dużych fabrykach w przemyśle uzyskano następujące informacje. W przypadku wież chłodniczych z grawitacyjnym przepływem powietrza przepływ strumieni wodnych i ścieków oraz wysokość wieży to najważniejsze czynniki oddziałujące na sposoby tłumienia hałasu. Wysokość opadania kropeł ma znaczenie do 5 m, ale w przypadku większych spadków nie odnotowano wpływu na całkowity poziom hałasu. Poziom natężenia dźwięku na wlocie może być wyliczony z następującego równania:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 68 + 10 * (\log M/M_0) \pm 2 \quad M_0 = 1 \text{ tona/h}$$

Poziom natężenia hałasu na wlocie powietrza do wież chłodniczych z grawitacyjnym przepływem powietrza może być w przybliżeniu liczony z następującego równania:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 71 + 10 * (\log M/M_0) - 0,15 * (H/H_0) \pm 5$$

$M_0 = 1 \text{ tona/h}$  ( $M = \text{masa przepływającej wody}$ )  
 $H_0 = 1 \text{ m}$  ( $H = \text{wysokość wieży chłodniczej}$ )

Przedział wartości natężenia hałasu na wlocie do wież chłodniczych z wentylatorami jest podobny. Dla wież chłodniczych wywiewnych (wentylator na szczycie wieży) udział hałasu tworzonego przez wodę na wylocie powietrza (dyfuzor) w całkowitym natężeniu hałasu może być w przybliżeniu obliczany z następującego wzoru:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 72 + 10 * (\log M/M_0) \pm 3 \quad M_0 = 1 \text{ tona/h}$$

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na hałas w wieżach z ciągiem wymuszonym są używane urządzenia (wentylatory, przekładnie, itp.). Najważniejszy wpływ na całkowity poziom hałasu ma prędkość wylotowa (25-60 m/s) z wentylatora. Ważny jest też typ używanych wentylatorów (promieniowe lub osiowe), jak też liczba i rodzaj łopatek wirnika w wentylatorze. Z raportów wynika, że negatywny wpływ na poziom hałasu mają przekładnie (przy tym samym wydatku wody i prędkości wylotowej z wentylatora), jeśli zredukowana jest prędkość wentylatora (np. eksploatacja nocą). Stają się one wtedy bardziej istotnym źródłem hałasu.

Natężenie dźwięku w wentylatorze może być obliczane w przybliżeniu z następującego wzoru:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 16 + 10 * (\log V/V_0) + 20 * (\Delta p/\Delta p_0) \pm 5$$

( $V_0 = 1 \text{ m}^3 \text{ powietrza/h}$ ;  $\Delta p_0 = 1 \text{ hPa}$ )

To ogólne równanie może być używane dla wentylatorów pracujących w systemie nadmuchowym i wyciągowym. W przypadku wież z systemem nadmuchowym wpływ pracy wentylatorów na poziom dźwięku na wylocie powietrza w średnich lub dużych wieżach chłodniczych będzie mniejszy niż w przypadku wentylatorów powodujących wyciąg powietrza umieszczonych u szczytu wieży chłodniczej. Ta różnica może wynosić nawet do 5 dB(A).

Poniższe równanie pokazuje jak poziom natężenia dźwięku w wentylatorach osiowych zależy od prędkości wylotowej z wentylatora:

$$L_w \text{ (dB(A))} = C + 30 \log U_{\text{wyl}} + 10 \log (Q*P) - 5 \log D_{\text{wen}}$$

( $C$  = współczynnik kształtu wentylatora,  $U_{\text{wyl}}$  = prędkość wylotowa z wentylatora,  $Q$  = wydatek na wentylatorze,  $P$  = spadek ciśnienia,  $D_{\text{wen}}$  = średnica wentylatora)

Emisja hałasu zależy również od budowy wieży chłodniczej. Hałas pochodzący z wież o konstrukcji betonowej jest generowany na wlocie i wylocie powietrza. W przypadku wież zbudowanych z innych, lżejszych materiałów należy wziąć pod uwagę emisję pochodzącą z płaszcza wieży.

Ponadto, przeciwprąd lub przepływ w układzie krzyżowym wpływa też na poziom hałasu w mokrych wieżach chłodniczych. Przepływ przeciwprądowy wnosi więcej emisji hałasu niż hałas pochodzący od rozbryzgów w konstrukcjach z przepływem krzyżowym.

Emisja hałasu może być określana przez zakresy częstotliwości wytwarzanych dźwięków, różnych dla wież z grawitacyjnym przepływem powietrza i dla wież z ciągiem wymuszonym. Wodę opadającą w wieżach z naturalnym przepływem charakteryzuje szeroki zakres częstotliwości, podczas gdy hałas pochodzący od wież z mechanicznym wymuszeniem charakteryzują niskie częstotliwości. To zjawisko, pośród innych czynników może wyjaśniać, dlaczego hałas związany z wodą zazwyczaj przeważa w bezpośredniej bliskości instalacji, a hałas pochodzący z wentylatorów zaczyna być dominujący i bardziej odczuwalny w większych odległościach od miejsca eksploatacji wieży chłodniczej.

Poziom natężenia hałasu w różnych wieżach chłodniczych jest w dużym stopniu zróżnicowany, a każde pojedyncze źródło hałasu będzie miało wkład w całkowitą jego emisję. Jest to zilustrowane przykładami podanymi w tabeli 3.11 dotyczącymi elektrowni [tm158, VGB, 1998] i tabelą 3.10 pokazującą wartości natężenia dla różnych systemów chłodzenia eksploatowanych w rafineriach [tm001, Bloemkolk, 1997].

Poziom hałasu wytwarzanego przez opadającą wodę w mokrych wieżach chłodniczych zależy od wysokości spadku wody. Niższe wysokości w mokrych wieżach z wyciągiem powietrza charakteryzuje niższy o około 1 dB(A) poziom natężenia hałasu na wlocie powietrza. W wieżach typu komórkowego z tym samym systemem powietrza odnotowano natomiast poziom hałasu mniejszy o około 3 dB(A).

**Tabela 3.10: Przykładowe wydajności i związane z nimi nietlumione natężenie hałasu powstającego przy eksploatacji systemów chłodzących w dużych rafineriach [tm001, Bloemkolk, 1997]**

Wyposażenie	Wydajność <sup>1</sup>	$L_w$ w dB(A)
sprężarki	490/ 2000 kW	108/ 119
pompy	25/ 100/ 1300 kW	94/ 98/ 108
turbiny parowe	1000/ 2000 kW	106/ 108
chłodnice powietrzne	7 /20 / 60 kW	89/ 93/ 98
chłodnica powietrzna/skraplacz	170 kW	102
chłodnica powietrzna/skraplacz	2,7 MW <sub>th</sub>	97
chłodnica powietrzna	14,7 MW <sub>th</sub> / 18,8 kW <sub>e</sub>	105
chłodnica powietrzna	1,5 MW <sub>th</sub> / 7,5 kW <sub>e</sub>	90
wieże chłodnicze	300 MW <sub>th</sub>	106



wieże chłodnicze	2000	m <sup>3</sup> /h	105
Uwagi:			
1. w odniesieniu do wydajności części obracających się, silnika, itp., tzn. wydajność nie chłodząca.			

**Tabela 3.11: Porównanie natężenia dźwięku na wlocie i wylocie powietrza mierzone dla różnych typów mokrych wież chłodniczych o konstrukcji konwencjonalnej [tm158, VGB, 1998]**

Rodzaj mokrej wieży chłodniczej	Na wlocie powietrza w dB(A)	Na wylocie powietrza (otwarcie dyfuzora) w dB(A)
z przepływem grawitacyjnym	84 ± 3	69 ± 3
otwarta mokra wieża chłodnicza	86 ± 3	80 ± 3
otwarta mokra wieża chłodnicza (typ komórkowy, przepływ nadmuchowy)	88 ± 3	85 ± 3
otwarta mokra wieża chłodnicza (typ komórkowy, przepływ wyciągowy)	85 ± 3	88 ± 3

W celu porównania natężeń hałasu sporządzono tabelę 3.12, która zawiera wartości całkowitych natężeń hałasu nietłumionego emitowanego przez różne typy systemów chłodzenia. Z przedstawionego powyżej zestawienia można wnioskować, że wielkość zakresu wartości zależy od zastosowanej konstrukcji i stosowanych urządzeń.

**Tabela 3.12: Emisja hałasu nietłumionego emitowanego przez różne systemy chłodzenia [tm134, Eurovent, 1998]**

System chłodzenia	Emisja hałasu dB(A)
z jednorazowym przepływem	
wieża chłodnicza z przepływem grawitacyjnym	90-100
wieża chłodnicza z przepływem wymuszonym mechanicznie	80-120
wieża chłodnicza z obiegiem zamkniętym	80-120
chłodzenie hybrydowe	80-120
chłodzenie suchym powietrzem	90-130

### 3.6.2 Ograniczanie emisji hałasu

([tm158, VGB, 1998], [tm061, Eurovent/Cecomaf, 1997], [tm086, Van der Spek, 1993], [tm093, Mirsky, 1995])

Ograniczanie emisji hałasu powinno skupiać się najpierw na tzw. działaniach podstawowych lub „wewnętrznych” zanim rozważone zostaną działania wtórne lub „zewnątrzne” takie, jak przegrody lub duże ekrany. W literaturze na temat ograniczania emisji hałasu z wież chłodniczych rozróżnia się hałas powodowany przepływem wody od hałasu pochodzącego z urządzeń mechanicznych. Ogólnie wieże chłodnicze z przepływem grawitacyjnym są mniej głośne (nietłumione), ale obniżanie poziomu hałasu jest bardziej efektywne w przypadku wież chłodniczych z przepływem wymuszonym mechanicznie. Oczywiście właściwa konserwacja i eksploatacja urządzeń mechanicznych może zmniejszyć emisję hałasu. W wielu przypadkach tylko wieże chłodnicze z mechanicznym wymuszeniem przepływu powietrza mogą spełniać normy odnośnie hałasu, gdyż tylko w nich mechaniczne wymuszenie przepływu może ekonomicznie skompensować straty ciśnienia powstałe po stronie strumienia powietrza. Wprowadzenie ciszej pracujących wentylatorów promieniowych często powoduje wyższe zużycie energii, a przez to droższą eksploatację niż w przypadku wentylatorów promieniowych.

Ogólne „podejście” polega na stosowaniu działań podstawowych w celu optymalizacji emisji hałasu. Jeśli wymagana jest dalsza redukcja poziomu hałasu, powinno się stosować metody dodatkowe. Przy obniżaniu poziomu hałasu należy pamiętać o skutkach stosowanych metod takich, jak spadek ciśnienia (wymagana większa energia) i innych źródłach, które stają się dominujące. Udział poszczególnych urządzeń w ogólnym poziomie emisji hałasu musi być traktowany jako część całego systemu emisji hałasu. Oznacza to, że oprócz innych czynników, należy wziąć pod uwagę też pobliskie budynki, rozproszenie zabudowy, a także odbicia dźwięku. Przedstawione powyżej równania pokazują na jakich działaniach należy się skupić (wysokość swobodnego spadku wody czy prędkość wylotowa z wentylatora) w celu obniżenia emisji hałasu z różnych potencjalnych jego źródeł.

### **3.6.2.1 Kontrola hałasu wytwarzanego przez spadającą wodę (mokre wieże chłodnicze)**

W wieżach chłodniczych z grawitacyjnym przepływem powietrza obniżanie poziomu hałasu skupia się na wlocie powietrza, ponieważ hałas powstający na wlocie ma jedynie niewielki udział w całkowitej emisji, pozostając na poziomie poniżej 5 dB. Hałas powstający na spodzie wieży w wyniku spadania wody jest do pewnego stopnia zmniejszany przez jego odbicia w wieży, wypełnieniu wieży i oparach (10-15 dB). Dalsze obniżanie poziomu hałasu może zredukować emisję na wlocie powietrza o kolejne 5-8 dB. Zaleca się stosowanie przedstawionych poniżej sposobów zarówno w przypadku średnich, jak i dużych mechanicznych wieżach chłodniczych.

#### **3.6.2.1.1 Działania podstawowe**

Następujące techniki można zaklasyfikować jako działania podstawowe:

- Przy obniżeniu powierzchni wody przez szybsze odprowadzanie ze zbiornika ściany zbiornika będą wykorzystywane jako ograniczniki dźwięku.
- Zmniejszenie wysokości spadku wody jest możliwe przez minimalizację sekcji wlotu powietrza, które jest ograniczone.
- Uniknięcie uderzania kropel o powierzchnię zbiornika jest możliwe dzięki zastosowaniu urządzeń wyłapujących krople i odprowadzających je do basenu z wodą (przeciwuderzaczce). Efekt: maksymalnie 7 dB.

- Efekt zmniejszenia hałasu można uzyskać także poprzez zbiór wody przez wypełnienie wieży, maksymalna redukcja: 10 dB.

Wadą tych metod jest podatność na zarastanie powierzchni urządzeń wyłapujących osadem, który może potencjalnie zanieczyszczać wodę.

### 3.6.2.1.2 Sposoby wtórne

Sposobami wtórnymi są:

- Tłumiki hałasu z przegrodami na czerpniach powietrza: maksymalna redukcja 20 dB. Wadą może być spadek ciśnienia, który może wynosić do 10 Pa. Spadek ciśnienia może wymagać 20% zainstalowanej wydajności wentylatora.
- Ekrany ziemne wokół podstawy wieży: efekt tłumienia 10 dB.
- Ściany dźwiękowe (lub ekrany) z warstwami obniżające poziom hałasu o 20 dB. W tych konstrukcjach efektywność zależy od budowy i odległości od podstawy wieży.

### 3.6.2.1.3 Suche wieże chłodnicze

Hałas z wież chłodzonych powietrzem pochodzi w przeważającej mierze z wentylatorów w średnich i dużych wieżach. Hałas wody może być dominujący, kiedy przepływa ona z dużymi prędkościami przez wymienniki ciepła. W przypadku skraplaczy hałas staje się wyraźny, gdy przy zastosowaniu urządzeń niskoemisyjnych przepływ przez rury skraplacza może powodować hałas o takim samym natężeniu jak w przypadku hałasu wytwarzanego przez wentylator. W takich przypadkach konieczne mogą okazać się dalsze sposoby obniżania poziomu hałasu oraz izolacja rur łączących.

### 3.6.2.2 Kontrola hałasu powstającego w urządzeniach mechanicznych (wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym)

Kontrola hałasu wytwarzanego przez opadającą wodę w średnich i dużych wieżach chłodniczych z ciągiem wymuszonym jest przeprowadzana poprzez te same działania podstawowe, jakich używa się w przypadku wież chłodniczych z przepływem grawitacyjnym.

Dodatkowo stosowane są:

- siatki lub struktury tkaninowe o małych oczkach, dryfujące po powierzchni wody w celu redukcji hałasu wytwarzanego przez opadające krople. Nie dostarczono żadnych danych na temat ilościowego efektu redukcji.

Obniżanie poziomu hałasu wytwarzanego przez urządzenia mechaniczne odnosi się głównie do obniżenia hałasu związanego z pracą wentylatorów w obu typach wież chłodniczych: mokrych i suchych. Stosowane sposoby to działania podstawowe (urządzenia) lub wtórne (absorpcja). Różne sposoby obniżania poziomu hałasu pozwalają na tłumienie hałasu na poziomie od 20 B(A) do 30 dB(A). Aby możliwe było osiągnięcie takich wysokich poziomów tłumienia, niezbędne jest zastosowanie ciszej pracujących urządzeń w połączeniu z dodatkowymi sposobami tłumienia hałasu takimi, jak bariery akustyczne lub tłumiki hałasu. Taki sprzęt do pasywnego tłumienia hałasu spowoduje wzrost kosztów inwestycyjnych, ale koszty eksploatacji są do zaakceptowania.

### 3.6.2.2.1 Działania podstawowe

W otrzymanych sprawozdaniach przedstawiono następujące działania podstawowe:

- Wentylatory:
  - wentylatory o niższej mocy (podwójna redukcja dB(A));
  - większe wentylatory powietrzne mogą spowodować różnicę 2-6 dB(A); większa ilość łopat, czyli 6-8 zamiast 4, spowoduje tę samą różnicę (a także obniżenie wymagań energetycznych);
  - użycie wentylatorów o niskiej emisji hałasu z szerszymi łopatami i niskimi prędkościami wylotowymi ( $< 40$  m/s) dla tego samego przepływu powietrza i ciśnienia;
- cichobieżne przekładnie napędowe (niskie stopnie przełożeń lub silniki wielobiegunowe), przekładnie zębate śrubowe zamiast przekładni prostokątnych, pasy napędowe i, w miarę możliwości, napęd bezpośredni.
- pasy napędowe typu V, płaskie lub pasy cichobieżne o profilowanej powierzchni; w miarę możliwości pasy powinny być obudowane;
- cichobieżne silniki napędowe w wentylatorach;
- wentylatory odśrodkowe zamiast osiowych;
- największe możliwe dystanse pomiędzy płatami wentylatora a konstrukcją nośną;
- użycie elastycznych podstaw pod przekładnie i silniki wentylatorów;
- aerodynamiczna konstrukcja kanałów przepustowych dla powietrza.

Dalsze zmniejszenie emisji hałasu można osiągnąć poprzez odpowiednią eksploatację urządzeń. Ilość cykli na minutę może też zredukować emisję hałasu przez wentylator. W czasie mniejszego zapotrzebowania na chłodzenie (noc) wentylatory mogą być eksploatowane przy niższej prędkości obrotowej, a wtedy 50% redukcja prędkości może zmniejszyć emisję hałasu o około 6-10 dB(A).

### 3.6.2.2.2 Działania wtórne

Działania wtórne stosowane na poborze i zrzucie powietrza w wieżach chłodniczych z mechanicznym wymuszeniem przepływu. Przy redukcji hałasu o 10 do 25 dB(A) trzeba niestety pogodzić się z podwyższonym spadkiem ciśnienia od 20 do 70 Pa. Problem ten należy rozwiązać przez dodatkowe nakłady energii lub większe (głośniejsze) wentylatory.

Oto przykłady:

- Wygłuszenie kanałów powietrznych i zamykanie ich w obudowach może przyczynić się do redukcji hałasu o 5 dB (A).
- Konstrukcje krzyżowe absorbujące dźwięk, które są budowane przy wylotach powietrza (dyfuzorach) w małych wentylatorowych w wieżach chłodniczych redukują emisję hałasu i dają lepsze przepływy powietrza, a przez to lepszy jego transport.
- Separatory kropli w mokrych wieżach chłodniczych mogą być obudowywane.
- Dodatkowych przegrody lub ściany (budynki lub ograniczniki hałasu) także okazały się skutecznym rozwiązaniem. Redukcja hałasu przez ekranowanie w pobliżu wieży chłodniczej może sięgać nawet 20 dB(A).

### 3.6.2.3 Koszty obniżania poziomu hałasu

Koszty związane ze stosowaniem sposobów redukcji hałasu będą w dużym stopniu zależeć od rodzaju działania oraz od tego, czy zastosowane sposoby stanowią część projektu nowej instalacji czy są działaniami wprowadzanymi przy modernizacji istniejącej instalacji. W przypadku nowej instalacji wieży hybrydowej całkowite koszty obniżania poziomu hałasu (wentylatory, tłumiki) szacuje się na około 20% całej inwestycji.

Dostarczono przykładu bilansu kosztów ilustrującego, jak koszty mogą wzrosnąć w miarę zwiększania redukcji hałasu. W przypadku wentylatorów osiowych stosowane mogą być różne konstrukcje (wartość C i prędkość wylotowa) bez redukcji spadku ciśnienia i wydajności przepływu/wentylatora. W przypadku wentylatorów cicho- i bardzo cichobieżnych należy się liczyć z dodatkowymi kosztami izolacji dźwiękowej napędu wentylatorów.

**Tabela 3.13: Przykład ilustrujący wzrost kosztów dla różnych konstrukcji wentylatorów związany z obniżeniem poziomu emisji hałasu.**

Za [tm086, Van der Spek, 1993]

Rodzaj wentylatora	Poziom natężenia dźwięku (dB(A))	Wskaźnik cenowy
klasyczny	100	1
cichobieżny	95	1,5
bardzo cichobieżny	90	3
doskonale cichobieżny	85	4

Dane w tabeli 3.13 pokazują różnice w kosztach dla różnych rodzajów wentylatorów, ale oczywiście należy także wziąć pod uwagę koszty przeniesienia napędu, tłumienia hałasu i budowy wieży chłodniczej. Koszty działań podstawowych takich, jak doskonale cichobieżne wentylatory mogą jednocześnie znacznie obniżyć koszty eksploatacji ze względu na mniejsze zapotrzebowanie na energię. Nie można zatem jednoznacznie stwierdzić, że redukcja emisji hałasu nie będzie ekonomicznie opłacalna.

## 3.7 Ryzyko związane z eksploatacją przemysłowych systemów chłodzenia

### 3.7.1 Ryzyko wystąpienia przecieków [tm001, Bloemkolk, 1997]

#### 3.7.1.1 Występowanie przecieków i ich konsekwencje

Przecieki mogą wystąpić w systemach chłodzenia wodnego i powietrznego, ale generalnie jest to problem wodnych systemów chłodzenia. W szczególności w systemach z jednorazowym przepływem zanieczyszczenia będą przedostawać do środowiska wodnego bezpośrednio poprzez wodę chłodzącą. W otwartych i zamkniętych obiegach w systemach mokrych i mokrych/suchych zanieczyszczenie to nie wystąpi natychmiast, ale skażeniu ulegnie chłodziwo i zakłócony zostanie skład chemiczny chłodziwa, co wpłynie na proces wymiany ciepła. Efekt nieszczelności w przypadku biocydów utleniających i nieutleniających został opisany w [tm090, Grab et al., 1994]. Ostatecznie substancje, które przedostały się do wody zostaną z układu usunięte razem z wodą chłodzącą.

W bezpośrednich powietrznych systemach chłodzenia nieszczelności mogą doprowadzić do skażenia powietrza chłodzącego, ale w przypadku tych systemów nie są one traktowane jako problem ochrony środowiska. Za problemy te odpowiedzialni są operatorzy systemów, którzy powinni starać się zapobiegać przeciekom z suchych systemów chłodzących. Systemy chłodzenia używające czynników chłodniczych nie zostały uwzględnione w niniejszym dokumencie.

Wymienniki ciepła są podatne na korozję, erozję i inne formy zużycia. Wpływ na to mają takie czynniki, jak wybór materiału, prędkości przepływu, temperatura ścianki i ciśnienie. Rezultatem tego może być nieszczelność związana z wyciekami medium procesowego i skażenie chłodziwa lub zanieczyszczenie medium procesowego. Rodzaj chłodnicy może mieć także potencjalny wpływ na ryzyko wystąpienia przecieku. W praktyce, eksploatacja odbiegająca od projektowanej powoduje drgania prowadzące do nieszczelności. Nieszczelności stają się istotnym problemem w momencie, gdy chłodzone medium procesowe zawiera substancje niebezpieczne dla środowiska naturalnego. Przecieki występujące w skraplaczach w elektrowniach lub w układach wyparnych nie stanowią problemu z punktu widzenia jakości wody, a raczej z techniczno-procesowego punktu widzenia. W elektrowniach nieszczelność oznacza utratę podciśnienia w skraplaczu, która może doprowadzić do strat wydajności układu generującego energię. Nieszczelności w kotłach (wytwornicach pary) mogą prowadzić do eksplozji.

Strata produktu wynikająca z nieszczelności w wymiennikach ciepła może być ważna wtedy, gdy istnieje środowisko korozyjne (np. słona woda) lub użyty został stosunkowo łatwo korodujący materiał (np. skraplacze z rurkami miedzianymi). Miedź jest często stosowana w celu redukcji ryzyka występowania osadów biologicznych, ale w praktyce osad występuje także w skraplaczach miedzianych. Niepożądane są emisje miedzi i można im zapobiegać przez stosowanie lepszych materiałów takich, jak tytan i stal nierdzewna lub przez dodawanie składników antykorozyjnych.

Nieszczelność jest czasem związana także z tzw. „poceniem się” chłodnic. Polega to na powstawaniu małych, cienkich rys lub przecieków w materiale uszczelniającym. W praktyce najczęściej występujące wady wymienników ciepła, o których doniesiono, są spowodowane przez:



- korozję/erozję w wyniku zanieczyszczenia chemicznego (korozja wglębna),
- korozję wynikającą z osadów pochodzenia biologicznego, substancji chemicznych, bakterii,
- erozji mechanicznej (ze względu na mikrouszkodzenia i uderzenia muszli),
- drgania (spowodowane przez przepływ lub rezonans pomp w układzie, itp.),
- nieszczelności, defekty materiałów uszczelniających,
- „pocenie się” połączeń rura-dno sitowe,
- usunięcie połączeń rura-dno sitowe,
- napięcia wewnętrzne w materiale powstające w wyniku niewłaściwych parametrów eksploatacyjnych, ciśnienia i/lub temperatury oraz
- zbyt duży gradient temperatury w chłodziwie; problemy mogą powodować temperatury powyżej 50°C.

W systemach z jednorazowym przepływem zużywających duże ilości wody małe przecieki są trudne do wykrycia. W tych systemach chłodzenia, w których skład wchodzi wiele wymienników ciepła, zawsze pewna liczba wymienników może być uszkodzonych, co w mniejszym lub większym stopniu tworzy stały poziom zanieczyszczenia wody chłodzącej, który jest niski i praktycznie nie do wykrycia przy dużych przepływach. Duże przecieki mogą być wykryte, ale ogólnie oznacza to także istotną emisję. W systemach z recyrkulacją z wieżami chłodniczymi ewentualne substancje lotne są usuwane, a przeciek jest kierowany do wody zrzutowej. W takich wypadkach, ze względu na małą objętość wody zrzutowej, wykrycie przecieku jest łatwiejsze, a woda zrzutowa w razie potrzeby może podlegać oczyszczaniu.

Wielkość przecieku jest zwykle możliwa do oszacowania dopiero po wypadku i w mniejszym stopniu w trakcie pomiarów przeprowadzanych w systemach z jednorazowym przepływem. Większe przecieki są wykrywane natychmiast i są zazwyczaj znaczne. Dane na temat zaistniałych przecieków wskazują, że w przypadku dużych wycieków (10000 m<sup>3</sup>/ godzinę lub więcej) poziom przecieku może łatwo osiągać wartości 100 do 3000 kg/24 godziny przy wielkości strumienia wypływającego wyrażonej w mg/l.

### 3.7.1.2 Redukcja nieszczelności

Wymienniki ciepła powinny mieć konstrukcję zapobiegającą powstawaniu nieszczelności. Różne organizacje przedstawiły zalecenia dotyczące konserwacji urządzeń. Powinna ona obejmować zarówno konserwację zapobiegawczą, jak i korekcyjną, gdyż samo zabezpieczanie nie daje pełnej kontroli nad problemami, które mogą się pojawić w pracy urządzenia. Konserwacja zapobiegawcza wymaga często zatrzymania produkcji, zwykle raz na dwa lata. W trakcie konserwacji korekcyjnej chłodnica jest wyłączona i naprawiane są nieszczelności, np. przez uszczelnienie przeciekającej rury lub wymianę pęku rur. W przypadku wymienników ciepła, które z przyczyn techniczno-procesowych nie mogą być wyłączone, linia technologiczna powinna być wyposażona w bliźniaczy rezerwowy wymiennik ciepła. Coraz bardziej oczywiste jest, że „usterki” i nieszczelności są przede wszystkim powodowane błędami projektowymi. W przemyśle każde dodatkowe koszty droższej konstrukcji lub lepszych materiałów są zwykle równoważone przez koszty awarii. Koszty inwestycyjne są niskie w porównaniu do tych spowodowanych stratami w produkcji. Projektowanie wymienników ciepła powinno więc być oparte na „przewidywaniu możliwych sytuacji”.

Mogą być stosowane następujące ogólne sposoby zmniejszenia ryzyka wystąpienia nieszczelności:

- wybór materiału do budowy mokrych systemów chłodzenia właściwego dla jakości stosowanej wody;
- eksploataowanie systemu zgodnie z parametrami projektowymi;
- jeśli potrzebne jest uzdatnianie wody chłodzącej, wybór najlepszego programu jej uzdatniania;
- monitoring nieszczelności w wodzie zrzutowej z mokrych systemów chłodzenia z recyrkulacją.

Jeśli pojawiają się problemy w eksploatacji, można zastosować wiele różnych rozwiązań w zależności od danego przypadku:

Na poziomie pojedynczych urządzeń (wymiennik ciepła) należy:

- sprawdzić przyczyny korozji, erozji
- sprawdzić warunki i parametry eksploatacyjne i porównać je z wartościami nominalnymi
- wymienić chłodnicę na nowocześniejszą, sprawdzając budowę i materiał
- wodę zanieczyszczoną przeciekami przeznaczyć do oczyszczania (rozważyć oczyszczanie pod-strumienia)
- zastanowić się nad recyrkulacją przy chłodzeniu wody płynącej w chłodnicy powietrza, i/lub pośredniego chłodzenia wodnego (możliwość ta naturalnie nie stanowi rozwiązania problemu w awarii wynikającej z awarii chłodnicy).

Na poziomie systemu (system chłodzenia wodnego jako całość lub wszystkie elementy składowe systemu) należy:

- utrzymywać najmniejszą możliwą różnicę ciśnień pomiędzy wodą chłodzącą a wodą procesową albo stworzyć lub utrzymywać nadciśnienie w wodzie chłodzącej,
- zmienić system na system pośredni lub jeśli jest to technicznie możliwe zastosować system recyrkulacyjny z wieżą chłodniczą (należy wziąć pod uwagę potencjalne ulatnianie się składników).

Zasada bezpieczeństwa VCI stosowana w przemyśle chemicznym określa przecieki jako czasowe upusty substancji powodujące długotrwałe szkodliwe zmiany w zbiornikach wodnych. W celu zapobiegania i kontroli przecieków sprawdzana jest zawartość chemicznych substancji w wodzie (przy użyciu R-testów), a ostateczne wyniki są odnoszone do wymagań dotyczących wyboru (pośredniego) układu chłodzenia i sposobu monitorowania nieszczelności (patrz załącznik VII).

Oczywiście stosowanie systemu pośredniego lub systemu z recyrkulacją z wieżą chłodniczą może pozwolić na prawie 100 % kontrolę przecieków. Woda może być uwolniona jedynie przy spadku ciśnienia, ale są to małe ilości i w pełni podlegają kontroli. Jednakże stosowanie obu możliwości wymaga znajomości wymagań procesu, w którym zastosowane jest chłodzenie. Układ pośredni lub zastosowanie wieży chłodniczej spowoduje wzrost temperatury spiętrzenia i wzrost minimalnej temperatury końcowej substancji poddawanej schładzaniu w danym procesie. Jeśli nie wpływa to negatywnie na proces, w którym stosuje się chłodzenie, parametry substancji procesowej(ych) usprawiedliwiają zastosowanie systemu pośredniego w celu ochrony wód powierzchniowych przed niepożądanymi emisjami ze względu na nieszczelności.

Niektóre firmy świadomie stosują pośrednie systemy chłodzenia tylko w tych systemach, w których mogą pojawić się przecieki, a nie stosują ich w systemach, które nie są podatne na

przecieki. Ponieważ kontrola powstawania nieszczelności wydaje się być trudna, do chłodzenia substancji specjalnych lub niebezpiecznych dla środowiska nie stosuje się raczej systemów z jednorazowym przepływem, szczególnie, jeśli możliwe są inne rozwiązania.

W przypadku istniejących systemów chłodzenia układ pośredni nie jest najlepszym rozwiązaniem ani z technicznego, ani z ekonomicznego punktu widzenia. Doświadczenia w stosowaniu konserwacji i programów kontroli w dużych systemach z jednorazowym przepływem ze słoną wodą są pozytywne. Wymiana niektórych wymienników okazała się być niezbędna, lecz 90% awarii innych wymienników mogło zostać ominiętych przez właściwe uzdatnianie wody i właściwą eksploatację systemu (monitoring drgań, obsługa pomp i uwaga na zwiężenia przepływu). Stosowane jest wykrywanie nieszczelności przez ich identyfikację w odpowiednich miejscach, przez co skrócony jest czas pomiędzy wystąpieniem awarii a jej wykryciem.

Wykrywanie przecieków w systemach z jednorazowym przepływem jest trudne i powinno się je rozpoczynać od identyfikacji wymienników ciepła, które są podatne na przecieki i które są używane do chłodzenia substancji niebezpiecznych. W takich przypadkach możliwe jest bardziej selektywne i dokładne kontrolowanie powstających nieszczelności. Konserwacja zabezpieczająca i korekcyjna są ważne dla uniknięcia problemów z nieszczelnościami, ale właściwy projekt bardziej wpływa na efektywność ekonomiczną układu.

### 3.7.1.3 Ograniczenie przecieków poprzez konserwację zabezpieczającą

Kontrola wizualna, testy hydrostatyczne i dodatkowe badania rur ciągnionych to przykłady dawnych metod sprawdzających. Ograniczenia wynikające z tych metod polegały na tym, że takie badanie skoncentrowane było tylko na widocznych częściach rur. Brud często maskuje wczesne stadia uszkodzeń, a formowanie się korozji jest trudne do stwierdzenia gołym okiem. Przy pomocy testów hydrostatycznych możliwe jest tylko wykrywanie przecieków rury. Problemem staje się więc dobranie do dalszych badań rury, która pozwalałaby na osiągnięcie reprezentatywnych wyników. Z tego względu dawne metody testujące opisane powyżej nie dawały wystarczających rezultatów w zapobieganiu zanieczyszczeniom środowiska powstającym na skutek niespodziewanego wycieku, uszkodzenia, zmniejszenia wydajności i/lub zakłóceń w produkcji. Z kolei na wypadek awarii musi być składowana duża ilość zapasowych rur.

Doświadczenie z nowym rodzajem sprawdzania rur wymienników ciepła (przy pomocy prądów wirowych) pokazuje, że można przedłużać trwałość rur w wymiennikach ciepła, a przez to zredukować przecieki. Ponieważ przy pomocy tej metody możliwe jest testowanie i przewidywanie awarii tylko jednej rury, testy powinny być przeprowadzane tak często, jak wynika to z dotychczasowych doświadczeń. W konsekwencji, użycie metod testowania pozwalających na przewidzenie ryzyka uszkodzenia pojedynczych rur w wymienniku może prowadzić do zmniejszenia zużycia rur, lepszego zarządzania magazynem części zamiennych i wiedzą o wcześniejszych stadiach korozji. Prowadzić to będzie do redukcji niespodziewanych awarii na skutek powstania nieszczelności rur z korzyścią dla środowiska naturalnego wynikającą z redukcji emisji poprzez wodę chłodzącą.

Od momentu wprowadzenia tej metody do zakładów chemicznych w 1990 roku osiągnięto ponad 90% zmniejszenie awaryjności [Paping, Dow Chemical Benelux Terneuzen, 1990]. Spowodowało to także obniżenie rocznych kosztów. Średnie roczne oszczędności osiągnięte dzięki zmniejszeniu ilości wymienianych rur są prawie 5 razy większe od kosztu testów. Ilość

niespodziewanych awarii w procesie spowodowanych przeciekaniem rur zredukowano w czasie 10 lat o 90%.”

### 3.7.2 Składowanie i użytkowanie substancji chemicznych

Składowanie i użytkowanie substancji chemicznych jest potencjalnym zagrożeniem ekologicznym w mokrych systemach chłodzenia. Dozowanie substancji uzdatniających w systemie chłodzenia może być ciągłe lub okresowe, a substancje mogą być podawane jako rozpuszczone lub czyste. Ilość substancji chemicznych i ich właściwości różnią się w dużym stopniu w zależności od szeregu czynników (np. składu chemicznego wody i materiału wymiennika ciepła). Ryzyko związane ze składowaniem i użytkowaniem substancji chemicznych także zależy od wymienionych czynników.

Na przykład, w celu kontroli pH, używany jest skoncentrowany kwas siarkowy, który jest zazwyczaj składowany w zbiornikach z miękkiej stali. Do zabezpieczenia przed gromadzeniem się wybuchowego wodoru potrzebna jest właściwa wentylacja pomieszczenia. W celu usunięcia z układu pompującego produktów pochodzących z korozji lub innych cząstek stałych, które mogą znajdować się w zbiorniku magazynowym, wskazane jest zastosowanie koszy ssawnych filtrujących od strony dopływu do pompy.

Czasami substancje uzdatniające są produkowane w miejscu ich stosowania. Np. w strefie nadbrzeżnej mórz podchloryn może być produkowany w procesie hydrolizy wody. Proces ten, zwany elektrochlorowaniem, może być groźny z powodu możliwości tworzenia się alg chlorowych. Instalacja ta również potrzebuje częstego czyszczenia kwasami. Stosowana jest obróbka alternatywna, gdzie możliwe jest uniknięcie tego ryzyka (np. załącznik 11.3.4.7).

Dodatki do wody mogą być podawane ręcznie lub przy pomocy skomplikowanego komputerowego systemu kontrolnego. Może to być także zlecone wyspecjalizowanym firmom, które zazwyczaj są dostawcami substancji uzdatniających. Dozowanie ręczne jest związane z wysokim ryzykiem rozlania i dlatego też w celu ochrony środowiska naturalnego i zdrowia ludzkiego należy stosować właściwe procedury zabezpieczające. Systemy automatyczne zmniejszają to ryzyko do minimum, choć wymagają regularnych przeglądów.

W Unii Europejskiej odpowiednie uregulowania dotyczące transportu, przechowywania i użytkowania substancji chemicznych muszą podlegać kontroli, a zintegrowane pozwolenia muszą uwzględniać działania wynikające z lokalnej specyfiki. Ogólnie celem jest redukcja ryzyka rozlewania się i przenikania pewnych substancji do gleby i/lub wód gruntowych mogących spowodować ich skażenie oraz zmniejszenie ryzyka eksplozji m. in. przez określenie obszaru, na którym dopuszcza się przechowywanie i użytkowanie substancji chemicznych. Na obszarach takich montowane są nieprzepuszczalne drzwi oraz przegrody umożliwiające oddzielne przechowywanie substancji chemicznych o wysokiej reaktywności i z minimalnym wymaganym poziomem wentylacji.

Najlepsze dostępne techniki BAT związane z przechowywaniem substancji niebezpiecznych zostały opisane w dokumentach referencyjnych BREF dotyczących emisji pochodzących z substancji przechowywanych.

### 3.7.3 Zagrożenie mikrobiologiczne

#### 3.7.3.1 Występowanie drobnoustrojów

Zagrożenie mikrobiologiczne związane z pracą systemów chłodzenia wynika z obecności różnych gatunków szkodliwych drobnoustrojów w wodzie chłodzącej lub w innych częściach systemu, które są z nią w kontakcie, takich jak osady biologiczne w wymiennikach ciepła i na wypełnieniach wież chłodniczych. Ryzyko to nie występuje w przypadku stosowania suchych systemów chłodzenia.

Główne ciepłolubne (thermophilic) szkodliwe drobnoustroje obecne w mokrych systemach chłodzenia żyjące w wodzie rzecznej to bakterie *Legionella pneumophila* (*Lp*) i ameby *Naegleria fowleri* (*Nf*). Jeżeli stosowana jest woda morska, w systemach z jednorazowym przepływem mogą rozwinąć się gatunki światłolubne, szkodliwe dla ryb lub ludzi. W naturalnym środowisku gatunki te występują zazwyczaj w niskich i nieszkodliwych stężeniach. Ze względu na podwyższoną temperaturę w systemie chłodzenia mogą powstać odpowiednie warunki do rozwoju tych bakterii, które potencjalnie mogą tworzyć zagrożenie dla ludzkiego zdrowia. Rozwój bakterii typu *Legionella* jest szybszy w obecności osadów, ameb, orzęsek i alg. Bakterie te dostają się do otoczenia dzięki aerozolom. W wyniku wystąpienia kilku ognisk epidemii, przeprowadzono wiele badań medycznych i biologicznych nad obecnością i cechami charakterystycznymi choroby legionistów (LD) oraz nad rozwojem bakterii *Legionella pneumophila* (*Lp*). W dalszym ciągu jednak zagadnienia dotyczące aspektów chemicznych i technologicznych pozostają niejasne.

W przypadku oparów tworzących się nad wieżami chłodniczymi o znacznej wysokości i z dobrze działającym odkraplaczem emisja bakterii ma mniejsze znaczenie, ale nie jest niemożliwa. Wysokie stężenie *Lp* w oparach nad wieżami chłodniczymi tłumaczone jest obecnością osadów wewnątrz wieży na ścianach betonowych. Pewna warstwa jest odrywana od ściany i osiada na odkraplaczu. [tm145, Werner and Pietsch, 1991].

Wielokrotnie stwierdzono obecność bakterii *Lp* w oparach z mechanicznych wież chłodniczych, które są dużo niższe od wież z naturalnym ciągiem powietrza, [tm040, Schulze-Robbecke and Richter, 1994], ale nie ustalono wystarczająco jasnego związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy chłodzeniem w wieżach a wybuchami epidemii choroby Legionistów. We wszystkich przypadkach, w których możliwe było ustalenie takiego związku winna była nieodpowiednia konserwacja systemów chłodzenia [Morton et al., 1986].

Typowe warunki w mokrych wieżach chłodniczych przyczyniające się do rozwoju bakterii *Legionella* to:

- temperatura wody w wieży chłodniczej w zakresie od 25 do 50 °C;
- wartość pH pomiędzy 6 a 8;
- obecność osadów.

Mniej informacji zebrano na temat obecności i postępowania z innymi szkodliwymi drobnoustrojami np. amebami. Zaobserwowano, że rozwój tych organizmów jest hamowany przez miedź, a stal nierdzewna przyczynia się do ich rozwoju. Ameby są również bardziej żywotne w otwartych systemach chłodzenia z recyrkulacją niż w systemach chłodzenia z jednorazowym przepływem. Badania przeprowadzono podczas zwalczania ameb *Nf* po ich



dużym wzroście ( $3000 \text{ l}^{-1}$ ) w wodzie chłodzącej po wymianie skraplaczy w pewnej elektrowni francuskiej. Ciągłe chlorowanie z maksymalnym poziomem stężenia wolnego chloru w zakresie od 0,3 do 0,5 mg/l doprowadziło do szybkiego zmniejszenia koncentracji ameb *Nf* do wartości poniżej 4 organizmów na 1 litr wody [tm144, Cabanes et al., 1997].

### 3.7.3.2 Pomiar ilości bakterii

Ilość bakterii *Lp* jest mierzona w jednostkach tworzących kolonie (CFU) na 1 litr i, jak stwierdzono, waha się ona w wodzie chłodzącej wieże od wartości bardzo małych (poniżej 10 CFU/l) do bardzo dużych ( $10^5$ - $10^6$  CFU/l). W osadach biologicznych tworzących błony biologiczne koncentracja ta dochodzi do  $10^6$  CFU/cm<sup>2</sup>.

W przypadku systemów klimatyzacyjnych w Wielkiej Brytanii wartościami dopuszczalnymi jest zakres 100-1000 CFU, ale nie jest oczywiste czy te wartości mogą być porównywane do tych, jakie występują w dobrze eksploatowanych wieżach chłodniczych i związanych z tymi przypadkami zagrożeniami. Wydane zostały zalecenia, by stężenie bakterii *Lp* było poniżej  $10^4$  CFU/l. Pomiar stężeń reprezentatywnych *Lp* dla przemysłowych mokrych systemów chłodzenia i poziom CFU w mokrych wieżach chłodniczych, które są wciąż jeszcze akceptowane pod względem ludzkiego zdrowia, mogą wymagać dalszych badań.

### 3.7.3.3 Sposoby ograniczania zagrożenia mikrobiologicznego

([tm038, Millar et al., 1997] i [tm040, Schulze-Robbecke and Richter, 1994], [tm166, Morton et al., 1986] [tm167, Fliermans, 1996])

Zjawiskami przyczyniającymi się do wybuchu epidemii wytworzonej przez bakterie *Legionella* są:

- rozwój zjadliwych szczepów bakterii w systemie chłodzenia
- warunki, które przyczyniają się do namnażania bakterii
- woda emitowana do atmosfery w postaci aerozolu
- krople aerozolu wdychane przez wrażliwe na bakterie osoby

Dlatego właśnie ochrona przed bakteriami *Legionella* w systemie chłodzenia powinna być oparta na hamowaniu rozwoju i namnażania się tych mikroorganizmów. Zalecenia odnośnie zapobiegania chorobie Legionistów zostały opracowane w szczególności w USA i Wielkiej Brytanii. Regularne analizy wody w zbiornikach wodnych (np. wieże chłodnicze) i dodatkowe rutynowe czynności konserwatorskie, odpowiednie pH i poziom temperatury, właściwe stężenie resztkowe biocydów oraz kontrola jakości wody uzupełniającej mogą wykluczyć powstawanie warunków dogodnych dla rozwoju bakterii *Legionella*.

W celu zabezpieczenia przed rozwojem bakterii *Lp* (i innych) w wieżach chłodniczych należy postępować w sposób następujący:

- używać czystej wody oraz w miarę możliwości uzdatniać wstępnie wodę chłodzącą;
- unikać przecieków do systemu chłodzenia;
- unikać martwych stref przy przepływach;
- hamować rozwój alg przez zmniejszenie energii słonecznej dochodzącej do wieży chłodniczej; należy unikać stosowania otwartych zbiorników wodnych;



- zapewnić swobodny dostęp do elementów urządzeń i regularnie je czyścić;
- używać odkraplaczy, które mogą być łatwo czyszczone i wymieniane;
- należy projektować możliwie niską temperaturę wody chodzącej (małe przyrosty temperatur);
- unikać osadów i korozji;
- dążyć do optymalizacji konstrukcji w celu uzyskania właściwych prędkości wody i powietrza;
- nie jest możliwe podanie minimalnej odległości wieży chłodniczej od terenów zamieszkałych, natomiast jeśli obszar jest wystarczająco duży należy unikać sytuacji, gdy opary schodzą do poziomu gruntu lub przedostają się na tereny zamieszkałe;
- minimalizacja tworzenia się oparów może ograniczyć ich ekspansję.

W odniesieniu do lokalizacji wieży chłodniczej sugeruje się dokonać podziału na kategorie zagrożenia mikrobiologicznego związanego z wieżami chłodniczymi opartego na liczebności populacji i jej potencjalnej podatności na te zagrożenia. Są to:

- **Kategoria 1: największe zagrożenie** – wieża chłodnicza pracuje w bezpośredniej bliskości (<200 m) szpitali, domów opieki zdrowotnej lub innych jednostek służby zdrowia dla osób ze zmniejszoną odpornością immunologiczną;
- **Kategoria 2:** wieża chłodnicza w odległości większej niż 200 m od stref przebywania ludzi starszych, hoteli lub innych budynków zamieszkałych przez dużą ilość osób;
- **Kategoria 3:** wieża chłodnicza w pobliżu domków jednorodzinnych lub obszarów przemysłowych;
- **Kategoria 4: najmniejsze zagrożenie** – wieża chłodnicza izolowana od sąsiedztwa domków jednorodzinnych tj. w odległości większej niż 600 m.

W oparciu o powyższą klasyfikację sprawdzenie systemu pod względem obecności bakterii *Legionella* w przypadku grupy największego ryzyka powinno odbywać się w przypadku kategorii 1 co miesiąc, w przypadku kategorii 2 badania powinny być wykonywane z przerwami od miesiąca do kwartału, w przypadku kategorii 3 od kwartału do roku, a w przypadku kategorii 4 badania mogą być przeprowadzane raz w roku wczesną jesienią.

W związku z tym istnieją następujące zalecenia dla operatorów wież chłodniczych:

- należy zwrócić uwagę na odpowiednie przeprowadzanie procesów zatrzymywania i startowania pracy wieży, szczególnie gdy obieg chłodzący nie pracuje więcej niż 4 dni;
- operatorzy z obsługi wież powinni w przypadku wejścia do środka wieży unikać bezpośredniego wdychania powietrza stosując maski chroniące usta i nos (dowodzono skuteczności maski typu P3);
- jeśli przystępuje się do czyszczenia systemu chłodzenia po stwierdzeniu obecności bakterii *Lp*, stosuje się kombinację czyszczenia mechanicznego i szokowej dawki biocydu.

Do powyższych zaleceń należy poczynić pewne dodatkowe uwagi. Po długotrwałym przestoju do czyszczenia systemu chłodzenia należy zastosować biocyd (chlor). Jeśli istnieją dowody, że system jest zanieczyszczony lub skażony, łącznie z akcesoriami np. tłumikami dźwięku, musi on być oczyszczony i otrzymać szokową dawkę biocydu przed startem. Zabieg ten powinien być przeprowadzony przez wyspecjalizowaną firmę. Jeśli system jest mocno skażony może być konieczna dezynfekcja.

Z doświadczenia wiadomo, że uzdatnianie chemiczne powoduje zwalczanie obecnych w wodzie bakterii. W trakcie kontroli i czyszczenia systemu chłodzenia szczególną uwagę należy zwrócić na osady na powierzchniach instalacji systemu, które wymagają czyszczenia mechanicznego.

Wspomniane w literaturze stężenie wolnego chloru na poziomie 50 mg/l jest po prostu dawką szokową, która jest stosowana po stwierdzeniu przypadków choroby Legionistów. Ze względu na stosowane duże ilości podchlorynu, oczywiście jest, że taki sposób uzdatniania wody nie jest odpowiedni jako metoda konserwacji wieży chłodniczej. W wielu przypadkach po podaniu dawki szokowej, a przed zrzutem wody do otoczenia niezbędna jest detoksyfikacja przy użyciu wodorosiarczynu.

Bardzo pożądaną jest wysoki poziom konserwacji w celu jak najskuteczniejszego zapobiegania rozwojowi bakterii *Lp*. Ogólnie, przy zabijaniu bakterii *Legionella* w wodzie bardziej pożądaną jest stosowanie biocydów utleniających. Substancje działające wolniej są konieczne przy atakowaniu bakterii rozwijających się w osadach. Działanie takie będzie wymagało zastosowania biocydów nieutleniających. Stwierdzono, że substancje z grupy związków amoniaku (QAC) dają lepsze rezultaty niż izotiazoliny.

W ostatnim raporcie pochodzącym z Danii [tm155, Berbee, 1999] zaprezentowano rezultaty ograniczania poziomu CFU w wieżach chłodniczych. Potwierdzają one, że nie określono jeszcze dokładnie minimalnego poziomu stężenia biocydów. Autorzy tego opracowania doszli do wniosku, że wysokie poziomy biocydów były konieczne do ograniczenia stężenia szkodliwych drobnoustrojów, ale pozwalały na uzyskanie jedynie krótkotrwałego efektu. Należy tu uwzględnić podwyższony poziom uwalnianych się w trakcie odkażania toksycznych półproduktów reakcji przebiegających w czasie tego procesu. Okazuje się, że bardziej efektywnym środkiem od stosowania biocydów może być niższa temperatura wody (tabela 3.14), choć nie we wszystkich przypadkach jest to możliwe do zrealizowania. Badania prowadzone nad zwalczaniem form przetrwalnikowych wykazały, że do ich zabicia potrzebne są bardzo duże stężenia biocydów, a szczególnie mało wrażliwe są one na biocydy nieutleniające.

**Tabela 3.14: Wpływ temperatury i biocydów na poziom CFU w wieżach chłodniczych**  
Cytat z Kuzniecowa w [tm155, Berbee, 1998]

Wieża chłodnicza	Wpływ obniżonej temperatury	Stężenie biocydu (mg/l)	Wpływ biocydu	Uwagi
A	T 25°C~10 <sup>5</sup> CFU do T 15°C~10 <sup>3</sup> CFU	PHMB, 3, dawka szokowa	czasowo poniżej granicy detekcji	
B	T 25°C~10 <sup>4</sup> CFU To T 15°C~10 <sup>3</sup> CFU	BNPD, 5, dawka szokowa	czasowo poniżej granicy detekcji	
C	n.r.	PHMB, 2-250, dawka szokowa	nie jasne	zmiana na wodę sieciową
D	n.r.	PHMB, 4-11, dawka szokowa	czasowo, 10 <sup>4</sup> CFU/l do 10 <sup>3</sup> CFU/l	
E	n.r.	BNPD, 65-190, dawka szokowa	czasowo, 10 <sup>5</sup> CFU/l do 10 <sup>3</sup> CFU/l	

**Uwagi:**

PHMB: poliheksametylenodwuguanidochlorek (QAC)

BNPD: bromonitropropaniol

### 3.8 Odpady pochodzące z systemu chłodzenia

Mało informacji zebrano na temat odpadów powstających w trakcie pracy systemu chłodzenia. Złomowanie części lub całego systemu może w pewnym momencie stać się problemem w przypadku wszystkich systemów chłodzenia. Modernizacja i wymiana sprzętu, jak też sposoby pracy wieży mogą prowadzić do powstawania następujących odpadów, które muszą być odpowiednio składowane:

- szlamy z obróbki wstępnej wody pobieranej do chłodzenia (np. dekarbonizacji), uzdatnianie wody chłodzącej lub zrzucanej do otoczenia z mokrych wież chłodniczych w systemie z recyrkulacją (patrz załącznik XI 3.4);
- odpady niebezpieczne (np. małe zbiorniki, przelewy) związane z uzdatnianiem chemicznym wody chłodzącej w mokrych wieżach chłodniczych;
- ścieki powstające przy myciu urządzeń;
- odpady powstające w wyniku modernizacji, likwidacji lub złomowania instalacji.

#### 3.8.1 Tworzenie się szlamów

W mokrych systemach chłodzenia szlamy mogą powstawać w zbiornikach na wodę. W ujęciu ilościowym więcej szlamów pojawia się w momencie, gdy proces dekarbonizacji jest przeprowadzany na miejscu. Nie przedstawiono żadnych szczególnych sposobów na ograniczenie powstawania tych szlamów. Odpowiednie oczyszczanie wody chłodzącej może zredukować osadzanie się szlamu. Obecnie metoda usuwania szlamów będzie zależała od chemicznego składu szlamu i będzie określana na podstawie lokalnego (krajowego) ustawodawstwa. W niektórych Państwach Członkowskich szlamy mogą być kierowane do źródła pobieranej wody powierzchniowej, natomiast w innych muszą one podlegać ściśle określonej obróbce.

Szlamy i muły obecne na dnie zbiorników mogą zawierać cysty lub formy przetrwalnikowe szkodliwych drobnoustrojów (3.7.3). Szkodliwe ameby i bakterie *Legionella pneumophila* są w dużych stężeniach odnajdywane w szlamach zbierających się w rurach skraplacza w trakcie wyłączeń instalacji lub przy czyszczeniu metalu chlorkami [tm145, Werner and Pietsch, 1991]. Cysty bakterii *Lp* są także obecne w osadach na wypełnieniu wieży. W związku z tym zalecane jest badanie jakości mikrobiologicznej takich osadów przed ich składowaniem lub ponownym przetwarzaniem wypełnień z tworzywa sztucznego PCW. Jeśli transport i przeładunek tych odpadów mogą powodować szczególne zagrożenie zdrowia konieczna może być odpowiednia ich obróbka.

#### 3.8.2 Odpady z uzdatniania wody chłodzącej i mycia instalacji

Uzdatnianie wody chłodzącej (szczególnie w dużych systemach) jest obecnie prowadzone automatycznie i w wielu przypadkach substancje są przechowywane w zbiornikach, a za ich transport, przechowywanie i posługiwanie się nimi odpowiada dostawca.

To samo odnosi się do ścieków, które powstają w wyniku mycia i oczyszczania instalacji. W ich przypadku także coraz częściej wynajmowane są wyspecjalizowane firmy.

Jednakże powstawanie i sposób postępowania z tego rodzaju odpadami nie jest typowym zagadnieniem dla przemysłowych systemów chłodzenia. Zakres, w jakim zagadnienia te mogą stanowić problem z punktu widzenia ochrony środowiska, jest ściśle związany ze sposobem eksploatacji systemu, wstępną obróbką wody pobieranej do chłodzenia i sprawnością procesu uzdatniania wody chłodzącej. Nie przedstawiono jednak żadnych informacji na ten temat.

### **3.8.3 Odpady z modernizacji, demontażu i złomowania instalacji**

Ogólnie systemy chłodzenia są projektowane i budowane na długie lata pracy (20 lat i więcej). Oczywiście, im lepiej są eksploatowane i konserwowane, tym dłużej pracują, choć powinny być projektowane i budowane z uwzględnieniem specyficznych warunków, w których mają być użytkowane. W szczególności należy wziąć pod uwagę materiały, z jakich są one budowane ze względu na ich oddziaływanie na środowisko oraz złomowanie lub usuwanie części wchodzących w skład instalacji systemu chłodzenia. Poniżej przedstawiono przykłady takich materiałów.

#### **3.8.3.1 Używanie tworzyw sztucznych**

W coraz większym stopniu w konstrukcjach wież chłodniczych używa się tworzyw sztucznych, takich jak polichlorek winylu, polipropylen, polietylen czy tworzywa sztuczne wzmocnione włóknem szklanym. Ich właściwości czynią je wysoce przydatnymi do zastosowania w bardzo niekorzystnym i często korozyjnym środowisku wieży chłodniczej. Obecne doświadczenia z użyciem tworzyw sztucznych opisano w technicznych artykułach Niemieckiej Organizacji Operatorów Elektrowni [tm., VGB, 2000]. Użycie tworzyw sztucznych może się przyczynić do zmniejszenia ilości powstających odpadów, o ile będzie istniała możliwość ponownego przetworzenia wymienianych elementów. Dotychczas nie przedstawiono jednak żadnych przykładów takich działań.

#### **3.8.3.2 Postępowanie z drewnem używanym w konstrukcjach mokrych wież chłodniczych.**

Drewno było i jest używane w wieżach chłodniczych, należy je jednak odpowiednio impregnować, by zabezpieczyć jego trwałość. Drewno używane w wieżach zarówno na wypełnienia, jak i na elementy konstrukcyjne może być chemicznie utrwalane. Utrwalanie było i wciąż może być przeprowadzane przy użyciu substancji, które dobrze wiążą się z drewnem (siarczan miedzi, dwuchromian potasu czy pięciotlenek arsenu). Stwierdzono, że w ciągu czasu pracy ubytek drewna wynosi 10% masy początkowej.

Nie jest możliwe ilościowe określenie stopnia, w jakim substancje konserwujące drewno przedostają się do środowiska wodnego. Raporty wskazują, że na powierzchni drewna impregnowanego, pomimo, że po impregnacji jest ono pozostawiane do wyschnięcia, wciąż utrzymują się znaczne ilości substancji chemicznych. Substancje te mogą być wymyte przez pierwszy strumień wody w wieży chłodniczej i wcześniej czy później przedostać się do wody przyjmującej wodę zrzutową.

Ponieważ substancje te zawierają Cr i As, najprawdopodobniej wkrótce zostaną one wycofane z użycia. Impregnacja drewna tymi substancjami nie jest najlepszą dostępną techniką i oczekuje się, że wkrótce zostanie zakazana. Opracowane zostały już alternatywne sposoby zabezpieczania drewna, które także są już stosowane. Oczekuje się więc, że emisje siarczanu miedzi, dwuchromianu potasu czy pięciotlenku arsenu do wód powierzchniowych będą stopniowo ograniczane.

Jeśli elementy drewniane impregnowane wyżej wymienionymi substancjami muszą być składowane – niektóre państwa dopuszczają kontrolowane składowanie takich elementów na specjalnych hałdach – należy zapobiec przeciekaniu do środowiska tych szkodliwych substancji. Inne Państwa Członkowskie jako metodę pozbywania się tych elementów stosują spalarnie, w których wiele z pierwiastków jest wychwytywanych w filtrach pyłowych. Określenie najlepszej techniki dla pozbywania się drewna impregnowanego siarczanem miedzi, dwuchromianem potasu lub pięciotlenkiem arsenu nie wchodzi w zakres niniejszego dokumentu referencyjnego BREF, choć i w tym przypadku należałoby określić ostateczny wpływ różnych zastosowań tych substancji na środowisko naturalne.

### 3.8.3.3 Wypełnienie mokrych wież chłodniczych

Wypełnienie wież chłodniczych zaraz po jego wymianie musi zostać usunięte. Wypełnienia są wykonywane z różnych materiałów, od których zależy sposób ich unieszkodliwiania. Nie dostarczono żadnych danych na temat poziomu zanieczyszczenia wypełnień.

Wyjątkiem jest stosowanie papieru azbestowego jako wypełnienia. Nie jest możliwe określenie, gdzie w Europie takie wypełnienia były stosowane, ale azbest mógł mieć w przeszłości wiele zastosowań, np. jako materiał konstrukcyjny wież chłodniczych lub materiał wypełnień tych wież. Ponieważ zagrożenia wynikające ze stosowania azbestu są już ogólnie znane nie jest on dłużej używany wieżach chłodniczych. Może on jednak wciąż znajdować się w starych wieżach chłodniczych, a do jego usuwania należy stosować specjalne działania.

Doniesiono o jednym przypadku kruszenia się wypełnienia azbestowego po 10-17 latach eksploatacji, co powodowało zmniejszenie wymiany ciepła. Usunięcie i wymiana wypełnienia były niezbędne wobec rygorystycznych warunków bezpieczeństwa [tm082, Mittendorf, 1990].

## 4 NAJLEPSZE DOSTĘPNE TECHNIKI CHŁODZENIA PRZEMYSŁOWEGO

### 4.1 Wstęp

W celu lepszego zrozumienia treści tego rozdziału czytelnik powinien zapoznać się ze wstępem do niniejszego dokumentu, a w szczególności z jego piątą częścią: „Jak rozumieć i stosować niniejszy dokument”. Techniki oraz związane z nimi poziomy emisji i/lub zużycia, jak również zakresy poziomów, jakie przedstawiono w niniejszym rozdziale, zostały ocenione w toku procesu iteracyjnego obejmującego następujące etapy:

- określenie kluczowych zagadnień dotyczących ochrony środowiska w obrębie danego sektora; w przemysłowych systemach chłodzenia nacisk kładzie się szczególnie na wzrost ogólnej wydajności energetycznej procesu chłodzenia oraz na ograniczenie emisji do wody powierzchniowej przez optymalizację uzdatniania wody chłodzącej;
- zbadanie technik najistotniejszych z punktu widzenia tych kluczowych zagadnień;
- określenie poziomów emisji optymalnych dla środowiska na podstawie danych dostępnych w Unii Europejskiej i na świecie; w większości przypadków osiągnane wyniki zależą od konkretnych rodzajów instalacji;
- zbadanie warunków, w których te poziomy emisji zostały uzyskane takich, jak koszty, oddziaływanie na środowisko, główne cele i motywacja dla wprowadzania tych technik;
- wybór najlepszych dostępnych technik BAT oraz związanych z nimi poziomów emisji i/lub zużycia dla tego sektora w ogóle, zgodnie z art. 2 ust. 11 oraz załącznikiem 4 do dyrektywy.

Europejskie Biuro IPPC i odpowiednia Techniczna Grupa Robocza (TWG) pełniły główną rolę przy fachowej ocenie każdego z tych etapów, jak również miały wpływ na sposób przedstawienia ich wyników w niniejszym opracowaniu.

Na podstawie tej oceny w niniejszym rozdziale przedstawiono konkretne techniki oraz – w miarę możliwości – poziomy emisji i zużycia związane ze stosowaniem najlepszych dostępnych technik BAT, które są uważane za odpowiednie dla danych układów chłodzenia i w wielu przypadkach odzwierciedlają aktualną charakterystykę eksploatacyjną niektórych instalacji w obrębie sektora. Tam gdzie prezentowane są poziomy emisji lub zużycia „związane z najlepszymi dostępnymi technikami BAT” oznacza to, że poziomy te odzwierciedlają skutki oddziaływania na środowisko, jakie można przewidzieć w wyniku zastosowania w tym sektorze, w konkretnych warunkach, opisanych technik, mając na uwadze bilans kosztów i korzyści stanowiących nieodłączny element definicji BAT. Jednakże nie są to graniczne wielkości emisji czy zużycia ani minimalne poziomy wydajności i nie powinny być tak rozumiane. W niektórych przypadkach uzyskanie lepszych poziomów emisji lub zużycia może być technicznie możliwe, jednak ze względu na związane z tym koszty lub skutki oddziaływania na środowisko nie są one uważane za właściwe jako BAT dla poszczególnych układów chłodzenia. Poziomy takie mogą jednak być uznane za uzasadnione w bliżej określonych przypadkach, w których występują szczególne okoliczności przemawiające za wdrożeniem danych technik.

Poziomy emisji i zużycia związane z zastosowaniem BAT muszą być rozpatrywane z uwzględnieniem szczególnych warunków odniesienia (np.: okresów uśredniania).



Należy odróżnić opisane powyżej pojęcie „poziomów związanych z zastosowaniem BAT” od określenia „osiągalny poziom” stosowanego gdzie indziej w tym dokumencie. W przypadku, gdy poziom jest opisany jako „osiągalny” przy zastosowaniu danej techniki lub kombinacji technik, oznacza to, że można go uzyskać stosując te techniki po pewnym czasie w dobrze utrzymywanej i obsługiwanej instalacji lub procesie.

Dostępne dane dotyczące kosztów wraz z opisem technik omówionych w poprzednim rozdziale lub w załącznikach zostały przedstawione łącznie. Wskazują one przybliżoną wielkość przewidywanych kosztów. Jednak rzeczywisty koszt zastosowania danej techniki będzie w dużym stopniu zależał od konkretnej sytuacji z uwzględnieniem, na przykład, wysokości podatków, opłat oraz specyfikacji technicznej dla danej instalacji. Dokładna ocena tych specyficznych dla danego miejsca czynników nie jest w tym dokumencie możliwa. W przypadku braku danych dotyczących kosztów, wnioski odnoszące się do ekonomicznej użyteczności technik zostały sformułowane na podstawie obserwacji istniejących instalacji.

Najlepsze dostępne techniki BAT przedstawione ogólnie w niniejszym rozdziale mają stanowić punkt odniesienia ułatwiający ocenę aktualnych wyników osiągniętych w ramach istniejącej instalacji lub propozycję dla nowej instalacji. Może to się okazać pomocne przy określaniu właściwych warunków „w oparciu o najlepsze dostępne techniki BAT” dla danej instalacji lub w ustaleniu ogólnych, wiążących przepisów zgodnie z art. 9 ust. 8. Przewiduje się, że nowe instalacje mogą być projektowane tak, aby osiągać lub nawet przekraczać ogólne przedstawione tu poziomy właściwe dla BAT. Uważa się również, że istniejące instalacje mogłyby zbliżyć się do ogólnych poziomów właściwych dla BAT bądź osiągać lepsze wyniki, w zależności od technicznych i ekonomicznych możliwości zastosowania danych technik w poszczególnych przypadkach.

Dokumenty referencyjne BREF wprawdzie nie ustalają prawnie wiążących norm, lecz mają za zadanie dostarczać informacji stanowiących wskazówki dla przemysłu, Państw Członkowskich i społeczeństwa na temat osiągalnych poziomów emisji i zużycia przy stosowaniu konkretnych technik. Odpowiednie wartości dopuszczalne dla każdego konkretnego przypadku będą musiały zostać określone z uwzględnieniem celów dyrektywy dotyczącej zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń (IPPC) oraz lokalnych uwarunkowań.

## **4.2 Poziome podejście do definiowania najlepszych dostępnych technik BAT dla chłodzenia przemysłowego**

Przed zaprezentowaniem w tym rozdziale wniosków dotyczących najlepszych dostępnych technik BAT zostanie podane krótkie wyjaśnienie, jak powinno się interpretować poziomy charakter powyższego dokumentu referencyjnego BREF.

W podejściu poziomym zakłada się, że można dokonać oceny zagadnień dotyczących środowiska dla zastosowanych technik i związanych z nimi sposobów redukcji wartości [emisji i zużycia] oraz ustalić ogólny opis najlepszych dostępnych technik BAT w oderwaniu od przemysłowego procesu, w którym zostały zastosowane.

Układy przemysłowego chłodzenia są integralną częścią procesów, w których zostały zastosowane. Opisane w tym dokumencie systemy chłodzenia są wykorzystywane w wielu

sektorach przemysłu w obrębie zainteresowania Europejskiego Biura IPPC w Sewilli. Wynika z tego ogromna różnorodność zastosowań, technik i sposobów działania. Ponadto termodynamiczny charakter procesów prowadzi do dalszego zróżnicowania wyników i, co za tym idzie, skutków dla środowiska.

Z powodu tej różnorodności trudno jest podać ogólne wnioski na temat najlepszych dostępnych technik BAT na podstawie porównania poszczególnych sposobów chłodzenia. Wydaje się jednak możliwe wyznaczenie ogólnego kierunku zapobiegania zanieczyszczeniom, który będzie wynikał z praktycznego doświadczenia w ograniczaniu emisji z systemów chłodzenia.

Ten ogólny kierunek zapobiegania zanieczyszczeniom, zwany również **podstawowym podejściem BAT**, nakierowany jest przede wszystkim na proces technologiczny wymagający chłodzenia. Kolejnym istotnym działaniem jest projektowanie i konstruowanie układu chłodniczego szczególnie, gdy dotyczy to nowych instalacji. Pomimo, że proponowane tu zmiany urządzeń i sposobu działania układów dotyczą przede wszystkim nowych instalacji, to jednak pozostają one również ważne dla istniejących instalacji, gdzie technologiczne możliwości zmian są zwykle znacznie ograniczone i bardziej kosztowne. Dla każdego przypadku należy przeprowadzać odrębną szczegółową analizę.

#### 4.2.1 Zintegrowane zarządzanie ciepłem (zasady dysponowania ciepłem)

##### 4.2.1.1 Chłodzenie przemysłowe = zarządzanie ciepłem

W procesie przemysłowym chłodzenie może być traktowane jako element zarządzania ciepłem, a dalej idąc, zarządzania energią w obiekcie przemysłowym. Dla danej ilości odprowadzanego ciepła o określonym poziomie energetycznym wymagana jest odpowiednia wielkość układu chłodzenia. Dopiero na tej podstawie wyznacza się jego konfigurację, konstrukcję i sposób działania i związany z nim wpływ na środowisko (oddziaływanie bezpośrednie). Z drugiej zaś strony skuteczność chłodzenia wpływa również na ogólną sprawność procesu przemysłowego (oddziaływanie pośrednie). Oba te oddziaływania, bezpośrednie i pośrednie, powinny być zachowane w równowadze z uwzględnieniem wszystkich zmiennych parametrów. Każda zmiana w układzie chłodzenia powinna być rozpatrywana również pod kątem konsekwencji dla obu rodzajów oddziaływania na środowisko.

Ten sposób postępowania może zostać wykorzystany jak punkt wyjścia do formułowania pierwszej zasady najlepszych dostępnych technik BAT dla układów chłodzenia. Pojęcie BAT dla wszystkich systemów określa spójny sposób postępowania, który ma na celu ograniczenie wpływu na środowisko przemysłowych systemów chłodzenia z zachowaniem równowagi między oddziaływaniem bezpośrednim i pośrednim. Innymi słowy, skutek ograniczenia emisji ma być konfrontowany z potencjalną zmianą ogólnej sprawności energetycznej procesu. Nie wyznacza się obecnie żadnej minimalnej proporcji między zyskami dla środowiska naturalnego a potencjalnymi stratami w ogólnej sprawności procesu, którą można byłoby wykorzystać jako kryterium dla wyznaczenia techniki, którą uznano by za najlepszą dostępną technikę. Ten sposób podejścia może jednak posłużyć do porównywania różnych rozwiązań (Rozdział 3.2 i załącznik II).

#### **4.2.1.2 Ograniczenie ilości ciepła odpadowego przez optymalizację ponownego wykorzystania ciepła wewnątrz i na zewnątrz procesu technologicznego**

Działania zapobiegawcze powinny rozpoczynać się od samego przemysłowego procesu technologicznego wymagającego odprowadzenia ciepła. Będą one miały na celu przede wszystkim ograniczenie wydalania ciepła do środowiska. Wydalanie ciepła oznacza w rzeczywistości stratę energii, nie spełnia więc warunków najlepszej dostępnej techniki. Ponowne wykorzystanie ciepła powinno być od samego początku brane pod uwagę przy obliczeniach zapotrzebowania na chłodzenie. Zagadnienia zintegrowanego wykorzystania energii w procesach przemysłowych nie są przedmiotem niniejszego dokumentu, ale zawiera on odnośniki do innych dokumentów referencyjnych najlepszych dostępnych technik BAT sporządzonych w ramach Zintegrowanego Zapobiegania i Ograniczania Zanieczyszczeń (IPPC), które odnoszą się do różnych wariantów zagadnień energetycznych.

Do oceny wymaganej wydajności cieplnej, w wypadku zupełnie nowych projektów, może zostać zastosowana tylko najlepsza dostępna technika z maksymalnym możliwym do osiągnięcia wykorzystaniem nadwyżki ciepła zarówno w ramach procesu przemysłowego, jak i poza nim.

W wypadku istniejących systemów, każda zmiana wydajności stosowanego układu chłodzenia musi być poprzedzona optymalizacją wykorzystania ciepła w procesie i poza nim oraz ograniczeniem ilości i poziomu energetycznego przekazywanego do otoczenia ciepła. Zwiększenie sprawności istniejącego układu chłodzenia przez poprawę działania układu powinno być oceniane z uwzględnieniem działań technologicznych poczynając od modernizacji układu po zmiany w samym procesie technologicznym. Nie tylko dla dużych istniejących układów chłodzenia poprawa ich działania może okazać się bardziej korzystna pod względem kosztów, niż zastosowanie nowej lub unowocześnionej technologii. Z tego powodu takie działanie może być uznane za najlepszą dostępną technikę BAT.

#### **4.2.1.3 System chłodzenia a wymagania procesu technologicznego**

Gdy zostaną już ustalone ilość i poziom energetyczny ciepła traconego w procesie technologicznym oraz nie będzie możliwe dalsze ograniczenie tych strat, będzie można dokonać wstępnego doboru układu chłodzenia z uwzględnieniem wymagań omówionych w Rozdziale 1. Każdy proces technologiczny posiada właściwy sobie zestaw wymagań. Najważniejsze z nich to poziom kontroli procesu, jego niezawodność i bezpieczeństwo. Ze względu na taką złożoność zagadnień dokonanie na tym etapie pierwszej charakterystyki najlepszej dostępnej techniki jest prawie niemożliwe. Będzie natomiast można, w oparciu o wiele charakterystyk procesów technologicznych, sformułować wnioski wymienione poniżej.

Do analiz przyjęto temperatury zewnętrzne wynikające z europejskich doświadczeń w eksploatacji układów chłodzenia w różnych warunkach klimatycznych. Generalnie temperatura suchego termometru nie uzasadnia schładzania ciepła odpadowego na niskim poziomie energetycznym i w takim wypadku preferowane jest chłodzenie wodne. Jednakże w regionach, gdzie występują niższe średnie temperatury zewnętrzne, do uzyskania niższych temperatur w procesie technologicznym stosuje się schładzanie suchym powietrzem (po wykorzystaniu możliwości odzysku ciepła wewnątrz procesu). Następnie, jeżeli jest dostępna odpowiednia ilość wody, użycie jej pozwala na odprowadzenie pozostałej ilości ciepła.

W wypadku substancji groźnych dla środowiska wodnego, wykorzystywanych w procesie technologicznym, wymagane jest zastosowanie pośredniego układu chłodzenia. Ma to na celu zabezpieczenie przed niekontrolowanym wyciekiem.

Wybór systemu chłodzenia powinien być dokonany w oparciu o porównanie różnych alternatywnych rozwiązań. Powinny one uwzględniać takie wymagania danego procesu technologicznego, jak na przykład kontrola nad reakcją chemiczną, pewność działania procesu, utrzymanie wymaganych poziomów bezpieczeństwa. Działanie to ma na celu ograniczenie do minimum pośredniego oddziaływania [na środowisko] wybranego rozwiązania. Aby ocenić ten wpływ na środowisko zaleca się wyrazić go stosunkiem bezpośrednio i pośrednio użytej w procesie energii ( $kW_e$ ) do energii rozproszonej w procesie ( $kW_{th}$ ). Innym sposobem porównywania rozwiązań jest wyrażenie zmian energii bezpośrednio wykorzystanej ( $kW_e$ ) w procesie chłodzenia lub zmian w wydajności produkcji w tonach na jednostkę energii wydalonej z procesu ( $kW_{th}$ ).

Zmiana sposobu chłodzenia, której celem jest ograniczenie wpływu na środowisko, może zostać uznana za najlepszą dostępną technikę BAT tylko wtedy, gdy sprawność układu chłodzenia jest utrzymana na tym samym lub wyższym poziomie.

**Tabela 4.1 Przykłady wymagań procesów technologicznych i najlepszych dostępnych technik BAT**

Charakterystyka procesu	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnosiniki
Wysoki poziom energet. rozpraszane ciepła ( $>60^{\circ}C$ )	Ograniczenie zużycia wody i środków chemicznych oraz poprawa ogólnej sprawności	Chłodzenie (wstępne) suchym powietrzem	Sprawność energetyczna i wielkość układu chłodzenia ograniczają stosowanie	Część 1.1/1.3
Średni poziom energet. rozpraszane ciepła ( $25 - 60^{\circ}C$ )	Poprawa ogólnej sprawności	Nie wskazuje się oczywistych działań	Zależy od konkretnego układu	Część 1.1/1.3
Niski poziom energet. rozpraszane ciepła ( $\leq 25^{\circ}C$ )	Poprawa ogólnej sprawności	Chłodzenie wodą	Zależy od wyboru lokalizacji	Część 1.1/1.3
Niski i średni poziom ciepła i wydajności	Optymalizacja ogólnej sprawności energetycznej przez oszczędność wody i ograniczenie widocznych oparów wody	Mokre i hybrydowe układy chłodzenia	Ze względu na wymagane miejsce i utratę ogólnej sprawności chłodzenie suche ma mniejsze zastosowanie	Część 1.4
Chłodzenia substancji niebezpiecz. i o wysokim ryzyku dla środowiska	Ograniczenie ryzyka wycieku	Pośredni układ chłodzenia	Należy zaakceptować wzrost temperatury spiętrzenia	Część 1.4 i załącznik VI

#### 4.2.1.4 System chłodzenia a wymagania związane z lokalizacją

Ograniczenia wynikające z lokalizacji mają szczególne znaczenie w nowych instalacjach, do których konieczny jest dobór układu chłodzenia. Ilość wydalanego z procesu ciepła może wpłynąć na wybór odpowiedniej lokalizacji obiektu. Dla procesów, które są czułe na zmiany temperatury, poszukuje się najlepszej dostępnej techniki przez wybór lokalizacji z odpowiednią ilością dostępnej wody chłodniczej.

Z wielu różnych powodów nowe instalacje nie zawsze są budowane w miejscach, które byłyby korzystne z punktu widzenia instalacji chłodzenia. W wypadku istniejącej instalacji, gdy lokalizacja instalacji jest już ustalona lub znana, to znane są też jej charakterystyczne parametry. Najbardziej istotnymi danymi do analizy termodynamicznej są cechy klimatu opisane przez temperatury termometru suchego i mokrego.

**Tabela 4.2 Przykłady cech charakterystycznych związanych z lokalizacją i najlepszych dostępnych technik BAT**

Charakterystyka procesu	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnosiniki
Klimat	Wymagane temperatury projektowe	Ocena zmian temp. suchego i mokrego termometru	Chłodzenie powietrzem ma ogólnie niską sprawność energetyczną przy wysokich temperaturach suchego termometru	Część 1.4.3
Ilość miejsca	Ograniczona ilość miejsca	Konstrukcje [urządzeń] (prefabrykowane) do montażu na dachu	Ograniczenie wielkości i ciężaru układu chłodzenia	Część 1.4.2
Dostępność wód powierzchniowych	Ograniczony dostęp	Układy recyrkulacji	Można zastosować chłodzenie mokre, suche, hybrydowe	Część 2.3 i 3.3
Wody odbierające ciepło czułe na obciążenia cieplne	Znaleźć wydajność, która przyjmie obciążenie cieplne	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Zoptymalizować poziom odzysku ciepła</li> <li>–Zastosować układ recyrkulacji (obiegowy)</li> <li>–Wybór lokalizacji (dla nowych układów chłodzenia)</li> </ul>		Część 1.1
Ograniczona	Zminimalizowanie	Chłodzenie	Zaakceptować kary	Część 3.3

dostępność wód gruntowych	wykorzystania wód gruntowych	powietrzem, jeżeli nie ma odpowiedniego źródła wody	energetyczne	
Tereny przybrzeżne	Duże wydajności >10 MW <sub>e</sub>	Obiegi otwarte (przelotowe)	Unikać mieszania się z lokalną strefą termiczną w punkcie poboru, np. przez wyrzucanie wody na głębokość poniżej strefy mieszania z zastosowaniem rozwarstwienia temperatur	Część 1.2.1/ Część 3.2/ Załącznik XI.3
Szczególne wymagania dotyczące lokalizacji	W wypadku wymaganego ograniczenia wielkości oparów i ograniczonej wysokości wieży	Zastosować hybrydowy układ chłodzenia	Zaakceptować kary energetyczne	Rozdz. 2

Innymi znanymi charakterystycznymi parametrami są: ilość dostępnego miejsca, ilość dostępnej wody do chłodzenia i do wydalenia oraz rodzaj wrażliwego otoczenia (miejskie czy przemysłowe). W odniesieniu do wód gruntowych za najlepszą dostępną technikę BAT można uznać zastosowanie suchego układu chłodzenia. Ograniczy to do minimum wykorzystanie wód gruntowych, szczególnie w miejscach, gdzie nie można wykluczyć wyczerpania się formacji wodonośnych.

W tabeli 4.2 przedstawiono przykłady najlepszych dostępnych technik dla kilku charakterystycznych cech związanych z lokalizacją obiektu.

#### 4.2.2 Zastosowanie najlepszych dostępnych technik BAT w przemysłowych systemach chłodzenia

W rozdziale 1 przedstawiono zarys działań zapobiegawczych, pokazując jak, krok po kroku, dojść do wymagań prowadzących do rozwiązania, które można by nazwać „najlepszą dostępną techniką chłodzenia”. W ramach tych działań, rozdział 1 i rozdział 3 wraz odpowiednimi załącznikami omawiają propozycje technik związanych z rozpoznaniem potencjalnych najlepszych dostępnych technik dla ważniejszych typów układów chłodzenia na wodę i powietrze. Optymalizacja układu chłodzenia w kierunku ograniczenia jego oddziaływania na środowisko wynika z wielu doświadczeń, a nie dokładnych wyliczeń matematycznych. Innymi słowy zastosowanie technik wybranych z tabel BAT nie prowadzi od razu do rozwiązania układu chłodzenia spełniającego warunki najlepszej dostępnej techniki. Ostateczne rozwiązanie BAT będzie ściśle związane z konkretnym obiektem. Uważa się jednakże, że na podstawie doświadczeń w przemyśle możliwe jest w niektórych przypadkach sformułowanie wniosków o BAT w postaci obliczeń.



W rozdziale 3, w oparciu o informacje ogłoszone przez Techniczną Grupę Roboczą (TWG), przedstawiono sposoby ograniczenia emisji do środowiska. Podjęto starania, aby dla każdego zagadnienia związanego ze środowiskiem i dla każdej konfiguracji układu chłodzenia ustalić ogólne zasady postępowania i dochodzenia do rozwiązań BAT. Niektóre techniki opisano bardziej szczegółowo w załącznikach. Kładzie się tu nacisk na problematykę związaną z wodą, a w szczególności na ograniczenie zastosowania biocydów i innych substancji szkodliwych.

Proponowane techniki są technikami stosowanymi w praktyce, czyli takimi, które udowodniły już swoją skuteczność. Mimo to trudno jest dokonać jednoznacznych obliczeń i techniki te mogą wzbudzać czasami nierealne oczekiwania. Można ogólnie założyć, że w nowych instalacjach da się wykorzystać wszystkie działania proponowane jako BAT, które jednak nie są całkowicie zależne od lokalizacji obiektu. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku istniejących instalacji, gdzie przy dużej liczbie wzajemnie zależnych od siebie czynników i ograniczonej liczbie możliwych rozwiązań, ocena zagadnienia jest znacznie trudniejsza. Wydaje się, że nie ma wielu przeszkód dla zastosowania w istniejących instalacjach chłodzenia zmian sposobu ich działania, chyba, że proces technologiczny ogranicza liczbę możliwych modyfikacji.

W tabelach od 4.3 do 4.12 przedstawiono techniki uważane za BAT, które wynikają z następujących pierwotnych działań dla uzyskania BAT:

- zwiększenie ogólnej sprawności energetycznej,
- ograniczenie użycia wody i dodatków do wody chłodzącej,
- ograniczenie emisji do wody i powietrza
- zmniejszenie hałasu
- ograniczenie wciągania/porywania organizmów żyjących w wodzie,
- ograniczenie zagrożeń biologicznych

Nie wyznaczono jednej najlepszej dostępnej techniki BAT dla ograniczania ilości odpadów i technik gospodarowania odpadami, która nie powodowałaby problemów ze środowiskiem, takich jak zanieczyszczenie gleby i wody lub powietrza w wypadku spalania.

W przypadku każdej kwestii ochrony środowiska określono wpływ stosowanej techniki ograniczania niekorzystnych skutków na inne aspekty środowiska. Ogólnie mówiąc, trzeba uważnie zbadać skutki każdej zmiany w układzie chłodzenia. W tym sensie optymalizacja procesu chłodzenia przemysłowego jest zagadnieniem dotyczącym wpływu na środowisko.

W niektórych przypadkach opisano BAT w liczbach. Jednakże istnieją przypadki, gdzie nie jest możliwe jednoznaczne opisanie ilościowe tych technik ze względu na różnorodność możliwych do stosowania układów chłodzenia przy zmiennych warunkach procesów. W takich sytuacjach dokonano opisowej oceny rozwiązań.

Dla nowych instalacji, BAT polega na rozpoczęciu poszukiwań sposobów na ograniczanie oddziaływania na środowisko już na etapie projektowania. Stosuje się urządzenia o niskim zapotrzebowaniu na energię oraz wybiera właściwe materiały dla urządzeń, które są w kontakcie z substancjami biorącymi udział w procesie technologicznym i/lub wodą chłodzącą. Dobrym wyjaśnieniem jest następujący cytat: „w praktyce [...] przykładą się mniejszą wagę do skonstruowania, rozplanowania i eksploatacji układu wody chłodzącej niż do ewentualnych konsekwencji dla środowiska źle zaprojektowanego i/lub eksploatowanego układu. Ponieważ

czynnikom projektowym poświęca się mało uwagi, technologie muszą często nadrabiać braki projektowe, dlatego trzeba je wybierać w taki sposób, by ograniczyć do minimum ryzyko skażenia. Dopóki świadomość długofalowych dodatkowych kosztów przy eksploatacji źle zaprojektowanego układu wody chłodzącej (CWS) jest tak mała, nie można się spodziewać znacznej zmiany w podejściu do projektowania” [tm005, Van Donk and Jenner, 1996].

Gdy preferowanym rozwiązaniem jest chłodzenie powietrzem, właściwe projektowanie obejmuje przede wszystkim ograniczenie zużycia energii i emisji hałasu, oraz optymalizację wielkości z uwzględnieniem wymaganej powierzchni wymiany ciepła.

Technologiczne zmiany istniejących instalacji mogą stać się BAT po spełnieniu pewnych warunków. Z reguły, przy zachowaniu całkowitej sprawności procesu, zmiana technologii jest bardzo kosztowna. Z tego powodu analiza kosztów powinna obejmować porównanie kosztów inwestycyjnych planowanej modernizacji do zmiany kosztów eksploatacji. Ponadto powinna uzasadniać skutki obniżenia sprawności w porównaniu z innymi skutkami dla środowiska. Na przykład, może to wymagać porównania między skutkami dla środowiska spowodowanymi zastosowaniem zamkniętego układu wody chłodzącej – wymagającego stosowania uzdatniania wody biocydami – z zastosowaniem otwartego obiegu wody bez stosowania biocydów, ale z przekazywaniem do środowiska wodnego dużej ilości ciepła.

W wypadku zastosowania fabrycznie gotowych wież chłodniczych, zmiana w sposobie chłodzenia wydaje się technicznie i ekonomicznie wykonalna. Nie przedstawiono w dokumencie żadnych danych, które mogłyby poprzeć tą tezę. Z doświadczenia dostawców wynika jednak, że dość łatwo jest wymienić na przykład małe wieże chłodnicze z mokrej wieży z obiegiem zamkniętym na wieżę hybrydową lub mokrą z opcją pracy na sucho. Nie wymagałoby to znaczących zmian procesu technologicznego czy prac budowlano-konstrukcyjnych.

Dla dużych konstruowanych na miejscu wież chłodniczych zmiany technologiczne nie są już takie łatwe. Inny sposób chłodzenia wiąże się zwykle z budową zupełnie nowej wieży.

Dla istniejących mokrych układów chłodzenia, przy których zwraca się szczególną uwagę na ograniczenie zużycia wody i emisji środków chemicznych do wód powierzchniowych, BAT ma raczej charakter zmian eksploatacyjnych niż technologicznych. Kluczowymi zagadnieniami w tym wypadku są monitorowanie, eksploatacja i konserwacja.

## 4.3 Ograniczanie zużycia energii

### 4.3.1 Ogólne działania

W fazie projektowania układu chłodzenia najlepszą dostępną techniką BAT jest:

- ograniczenie oporów przepływu wody i powietrza
- zastosowanie urządzeń o wysokiej sprawności i niskim zużyciu energii
- ograniczenie liczby urządzeń wymagających energii (załącznik XI.8.1)
- stosowanie optymalnego układu uzdatniania wody chłodzącej w otwartych systemach chłodzenia i w mokrych wieżach chłodniczych tak, aby uniknąć osadzania się na ich powierzchni kamienia, osadów i korozji.

W każdym indywidualnym przypadku kombinacja wspomnianych powyżej czynników, powinna pozwolić na uzyskanie najniższego możliwego do osiągnięcia zużycia energii potrzebnej do pracy układu chłodzenia. Ustalono wiele technik i sposobów działania dla uzyskania BAT.

### 4.3.2 Ustalone techniki ograniczania przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT

Przy kompleksowej analizie procesu chłodzenia przemysłowego bierze się pod uwagę zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio wykorzystanie energii. Z punktu widzenia ogólnej sprawności energetycznej instalacji, zastosowanie otwartego obiegu chłodzenia stanowi BAT, w szczególności w procesach wymagających dużej wydajności chłodniczej (np.  $>10\text{MW}_{\text{th}}$ ). W wypadku rzek i ich ujść system otwarty może mieć zastosowanie przy następujących dodatkowych warunkach:

- powiększenie strefy ogrzania wody powierzchniowej pozostawia przejście dla migracji ryb;
- ujęcie wody chłodzącej jest tak zaprojektowane, aby ograniczyć wciąganie ryb;
- podgrzewanie wody nie ma wpływu na innych użytkowników wód powierzchniowych.

W elektrowniach, w których nie jest możliwe zastosowanie systemu otwartego, najbardziej efektywnym systemem są wieże chłodnicze. Ich zastosowanie może być jednak ograniczone przez ich wysokość.

**Tabela 4.3 Najlepsze dostępne techniki BAT dla zwiększenia ogólnej sprawności energetycznej**

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnosiniki
Duże wydajności	Ogólna sprawność energetyczna	Wybrać lokalizację dla układu przepływowego otwartego	Patrz tekst powyżej tabeli	Część 3.2
Wszystkie układy	Ogólna sprawność energetyczna	Zastosować opcję dla zmiennego działania	Ustalić wymagany zakres chłodzenia	Część 1.4
Wszystkie układy	Zmienne działanie	Regulacja przepływu wody i powietrza	Unikać kawitacji w układzie (korozja i erozja)	
Wszystkie układy mokre	Czyste powierzchnie obiegu /wyminiennik	Optymalizacja uzdatniania wody i zabezpieczania powierzchni rurociągów	Wymaga odpowiedniego monitorowania	Część 3.4
Układy otwarte z jednorazowym przepływem	Utrzymać sprawność chłodzenia	Unikać recyrkulacji strefy podgrzanej wody w rzekach i jej minimalizacja w ujściach rzek i nad morzem		Załącznik XII
Wszystkie wieże chłodnicze	Ograniczanie jednostkowego zużycia energii	Zastosować możliwie małe słupy podnoszenia pomp i wentylatorów, aby zredukować zużycie energii.		

## 4.4 Ograniczanie zapotrzebowania na wodę

### 4.4.1 Ogólne działania

W odniesieniu do nowych instalacji można sformułować następujące twierdzenia:

- W świetle ogólnego bilansu energetycznego, chłodzenie wodą jest najbardziej efektywne;
- Przy wyborze lokalizacji nowych instalacji o dużym zapotrzebowaniu na chłodzenie, należy zapewnić dostęp do odpowiedniej ilości wody powierzchniowej dla celów chłodzenia;
- Należy ograniczyć zapotrzebowanie na chłodzenie przez optymalizację odzyskiwania ciepła;
- Przy wyborze lokalizacji nowych instalacji należy zapewnić odpowiednie przyjęcie wody, szczególnie w wypadku dużych zrzutów wody chłodzącej;
- Tam gdzie dostęp do wody jest ograniczony, należy wybrać technikę chłodzenia umożliwiającą różne sposoby pracy, które wymagają mniej wody dla uzyskania żądanej wydajności;
- We wszystkich przypadkach możliwym wariantem mogą być zamknięte obiegi chłodzenia. Wymagają one jednak uważnej analizy różnych czynników, takich jak wymagane uzdatnianie wody i niższa ogólna sprawność energetyczna.

W istniejących instalacjach chłodzenia wody można ograniczyć zapotrzebowanie na wodę przez zwiększenie odzysku ciepła i poprawę działania instalacji. W wypadku rzek, które nie zapewniają wystarczającej ilości wody, za BAT można uznać zamianę układu chłodzenia z otwartego na zamknięty.

W elektrowniach o dużym zapotrzebowaniu na chłodzenie taka zamiana jest jednak uważana za bardzo kosztowną i wymagającą dużej ilości miejsca na nowe urządzenia.

#### 4.4.2 Ustalone techniki ograniczania przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki

Tabela 4.4 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia zapotrzebowania na wodę

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnośniki
Wszystkie układy mokre	Zmniejszenie zapotrzebowania na chłodzenie			Rozdz. 1
	Zmniejszenie korzystania z ograniczonych źródeł	Korzystanie z wód gruntowych nie jest BAT	Zależy od warunków lokalnych szczególnie w istniejących instalacjach	Rozdz. 2
	Ograniczenie zużycia wody	Zastosowanie układów zamkniętych	Różne wymagania na obróbkę wody	Rozdz. 2/3.3
	Ograniczenie zużycia wody, tam gdzie wymagane jest ograniczenie wydzielanych oparów i wysokości wieży chłodniczej	Zastosowanie hybrydowego układu chłodzenia	Zaakceptować kary energetyczne	Rozdz. 2.6/3.3.1.2
	Jeśli w czasie procesu nie jest dostępna woda (woda uzupełniająca) lub jej ilość jest ograniczona (rejony dotknięte suszą)	Zastosowanie chłodzenia powietrzem	Zaakceptować kary energetyczne	Część 3.2 i 3.3 załącznik XII.6
Wszystkie zamknięte - mokre i hybrydowe - układy chłodzenia	Ograniczenie zużycia wody	Optymalizacja cykli zagęszczania	Zwiększona potrzeba obróbki wody, przez na przykład używanie zmiękczonej wody uzupełniającej	Część 3.2 i Część XI

Przy wielu okazjach proponuje się stosowanie chłodzenia suchym powietrzem. Jeżeli weźmiemy pod uwagę ogólną sprawność energetyczną, to ten sposób chłodzenia jest mniej atrakcyjny niż chłodzenie mokre. Jednak nie dyskwalifikuje to tej metody chłodzenia. Obliczono, że dla analizy krótkoterminowej różnica kosztów między mokrym a suchym układem chłodzenia jest mniejsza niż w dłuższym okresie eksploatacji. Jeżeli weźmiemy pod uwagę również koszty wody i jej uzdatniania, to ta różnica będzie jeszcze mniejsza. Chłodzenie powietrzem może być zalecane w takich przypadkach jak dochładzanie przy wysokich temperaturach, gdzie potrzebna byłaby nadmierna ilość wody.

## 4.5 Ograniczanie wciągania/porywania organizmów żywych

### 4.5.1 Ogólne działania

Przystosowanie kanałów wlotowych wody w taki sposób, aby zmniejszyć wciąganie ryb i innych organizmów, to zadanie skomplikowane i silnie uzależnione od lokalizacji obiektu. Wymiana istniejącego kanału wlotowego wody jest możliwa, ale też kosztowna. Spośród stosowanych i testowanych sposobów zabezpieczania i odstraszenia ryb, żadnego nie uznano jeszcze za BAT. Niektóre ogólne strategie projektowania i lokalizacji ujęć wody można rozważać jako BAT, ale dotyczy to szczególnie nowych układów.

Stosując sita należy wziąć pod uwagę, że koszty usuwania odpadów organicznych, które się na nich gromadzą, mogą być znaczne.

### 4.5.2 Ustalone techniki ograniczania przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki

**Tabela 4.5 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia wciągania/porywania organizmów**

Dotyczy	Kryterium	Pierwsze działanie dla uzyskania BAT	Uwagi	Odnośniki
Wszystkie obiegi otwarte i układy chłodzenia, które pobierają wodę powierzchniową	Odpowiednie położenie i projekt wlotu wody i wybór techniki ochrony	Analiza biotopu w wodzie powierzchniowej	Również krytyczne obszary, takie jak podłoże z ikłą, rejony migracji i mateczniki ryb	Część 3.3.3 i załącznik XII.3.3
	Konstrukcja kanałów wlotowych	Optymalizacja prędkości wody w kanałach wlotowych do prędkości osadzania; sprawdzenie sezonowego pojawiania się makroosadów		Część 3.3.3



## 4.6 Ograniczanie oddziaływania na wodę

### 4.6.1 Ogólne działania objęte BAT w celu ograniczenia emisji ciepła

To czy emisja ciepła do wody powierzchniowej będzie miała wpływ na środowisko, zależy silnie od lokalnych warunków obiektu. Warunki takie zostały opisane, lecz nie pozwalają na sformułowanie ogólnych wniosków o BAT.

Tam gdzie w praktyce miały zastosowanie ograniczenia w emisji ciepła, zmieniano układ chłodzenia z otwartego przelotowego na obieg cyrkulacyjny otwarty (wieże chłodnicze z otwartym obiegiem wody). Po uwzględnieniu dostępnych informacji i po rozważeniu wszystkich możliwych zagadnień można uznać, że takie rozwiązanie może być uważane za BAT. Wiązałoby się to z potrzebą porównania wzrostu kar za obniżenie ogólnej sprawności energetycznej z powodu zastosowania mokrych wież (rozdział 3.2) z ograniczeniem oddziaływania na środowisko na skutek zmniejszenia wydzielania ciepła. Zintegrowana ocena na poziomie całego dorzecza mogłaby uwzględniać wzrost sprawności innych procesów, które korzystają z tej samej, ale zimniejszej już wody, ponieważ rozważany proces jej już nie podgrzewa.

Tam gdzie działania zmierzają ogólnie do zmniejszenia  $\Delta T$  na wylocie wody chłodzącej, można sformułować tylko kilka wniosków na temat BAT. W szczególnych sytuacjach, w dużych elektrowniach, zastosowano dochłodzenie (załącznik XII), na przykład dla uniknięcia nadmiernego wzrostu temperatury wody na wlocie.

Wydzielanie ciepła do wody będzie musiało być ograniczone ze względu na zaostrzenie wymagań dyrektywy 78/659/EWG dotyczące źródeł świeżej wody. Kryteria te zostały zebrane w tabeli 3.6. Przygotowano również odniesienie do klauzuli w art. 11 tej dyrektywy dotyczącej odstępiania do wymagań w pewnych szczególnych sytuacjach.

### 4.6.2 Ogólne działania objęte BAT w celu ograniczenia emisji środków chemicznych do wody

Politycy i przemysł Państw Członkowskich poświęcili bardzo dużo uwagi zapobieganiu i kontroli emisji środków chemicznych z układów chłodzenia. W układach chłodzenia, obok zagadnienia wydzielania ciepła, jest to wciąż najważniejsza sprawa.

W myśl twierdzenia, że 80% wpływu na środowisko naturalne zależy od projektowania, w fazie projektu mokrego układu chłodzenia należy podjąć kolejno następujące działania:

- ustalenie warunków pracy procesu (ciśnienie, T, korozyjność użytych substancji),
- ustalenie składu chemicznego wody pobieranej do układu chłodzenia,
- dobór odpowiedniego materiału wymiennika ciepła, który uwzględnia warunki procesu technologicznego i parametry wody chłodzącej,
- dobór odpowiedniego materiału dla innych części układu chłodzenia,
- ustalenie sposobu działania układu chłodzenia,
- dobór praktycznego układu uzdatniania wody (skład chemiczny), który wykorzystuje mniej niebezpiecznych środków chemicznych lub takich, które mają mniejsze potencjalne oddziaływanie na środowisko (część 3.4.5, załącznik VI i VIII),
- zastosowanie schematu doboru biocydów (rozdział 3, rysunek 3.2) i

- optymalizacja sposobu dozowania przez monitorowanie wody chłodzącej i parametrów układu.

Ten sposób postępowania ma na celu przede wszystkim ograniczenie potrzeby uzdatniania wody chłodzącej. W istniejących instalacjach zmiany technologiczne i zmiany urządzeń są trudne i generalnie bardzo kosztowne. Dlatego należy skoncentrować działania na funkcjonowaniu układów poprzez stosowanie monitorowania połączonego z optymalizacją dozowania. Ustalono kilka przykładów technik, które zapewniają dobre rezultaty. Mają one ogólnie zastosowanie do pewnej kategorii układów. Uważa się je za niedrogie i niewymagające dużych zmian w instalacji chłodzenia.

Po zwiększeniu odporności układu na zanieczyszczenia i korozję może okazać się, że układ uzdatniania jest nadal potrzebny dla utrzymania skutecznej wymiany ciepła. Kolejnym krokiem jest więc wybór mniej szkodliwych dla środowiska wodnego dodatków do wody chłodzącej oraz ich bardziej efektywne stosowanie.

Nie udało się zaproponować odpowiedniej BAT dla doboru środków chemicznych, ponieważ ranking sposobów uzdatniania i środków chemicznych, które są do tego używane, jest bardzo trudny, a być może wręcz niemożliwy, do przeprowadzenia. Ze względu na duże zróżnicowanie warunków i sposobów uzdatniania tylko indywidualna ocena każdego projektu może doprowadzić do właściwych rozwiązań.

Taka analiza wraz z jej istotnymi elementami może stanowić sposób działania, który można traktować jako BAT.

Właśnie taki sposób działania jest proponowany się w tym dokumencie referencyjnym BREF. Stanowi on narzędzie, które pomoże w pierwszej selekcji najlepszych środków chemicznych i ocenie biocydów, łącząc wymagania układu chłodzenia i związanego z nim środowiska wodnego (załącznik VIII). Proponowane działania mają na celu zminimalizowanie oddziaływania dodatków do wody chłodzącej, a w szczególności biocydów. Dyrektywa dotycząca biocydów 98/8/WE (BPD) i ogólna dyrektywa na temat wody (WFD) tworzą podstawy do tych działań. Uważa się za istotne, aby korzystać z wartości przewidywanego stężenia w środowisku (PEC) i przewidywanego braku efektu stężeniowego (PNEC) dla różnych substancji, a stosunek tych wartości (PEC/PNEC) mógłby pełnić funkcję punktu odniesienia dla wyznaczenia BAT.

Gdy chodzi o stosowanie poszczególnych substancji, to najwięcej doświadczenia zdobyto w układach przelotowych z substancjami chloropochodnymi (w szczególności podchlorynu, chloraminy) i połączeń chloru i bromu, jak również w ograniczaniu poziomów ich stężenia.

To samo dotyczy wykorzystywania biocydów do obróbki wody w obiegach zamkniętych. W uzdatnianiu wody w tych układach korzysta się jednocześnie z wielu substancji. Oczywistym jest, że niektóre z tych składników lub substancji mogą nie być uznane za BAT lub nie powinny być wcale stosowane. Ogólne działania w celu wyznaczenia odpowiedniego biocydu będą zależały do lokalnych warunków, takich jak zagadnienia jakości wody powierzchniowej doprowadzanej do układu chłodzenia.

### 4.6.3 Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy zastosowaniu podejścia BAT

#### 4.6.3.1 Zapobieganie zanieczyszczeniom na etapie projektowania i eksploatacji

**Tabela 4.6 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji do wody w projektowaniu i sposobach eksploatacji**

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnosiniki
Wszystkie mokre układy chłodzenia	Stosowanie materiałów mniej podatnych na korozję	Analiza korozyjności substancji biorących udział w procesie technologicznym oraz wody chłodzącej celem wybrania właściwego materiału		Rozdz. 3.4
	Ograniczenie osadzania się zanieczyszczeń i korozji	Projektowanie układów chłodzenia, tak aby uniknąć martwych stref		Załącznik XI.3.3.2.1
Wymienniki płaszczowo-rurowe	Projekt ułatwiający czyszczenie	Woda chłodząca płynie wewnątrz rur a media mocno osadzające się są na zewnątrz	W zależności od konstrukcji, T i ciśnienia	Załącznik III.1
Skraplacze elektrowni	Ograniczenie podatności na korozję	Stosowanie tytanu w skraplaczach chłodzonych wodą morską i słonawą (brakiczną)		Załącznik XII
	Ograniczenie podatności na korozję	Stosowanie stopów o niskiej korozyjności (stal nierdzewną o wysokim wskaźniku głębokości wżerów lub miedzionikiel)	Zmiana na stopy nisko korozyjne może powodować tworzenie się czynników chorobotwórczych	Załącznik XII.5.1
	Czyszczenie mechaniczne	Używanie zautomatyzowanego układu czyszczącego z kulkami z pianki lub szczotkami	Poza czyszczeniem mechanicznym może być potrzebne wysokie ciśnienie wody	Załącznik XII.5.1
Skraplacze i wymienniki ciepła	Ograniczenie gromadzenia się osadów w skraplaczach	Prędkość wody >1,8 m/s dla nowych urządzeń i 1,5 m/s w wypadku modernizacji wiązek rur	Zależy od podatności na korozję materiału, jakości wody i zabezpieczenia powierzchni	Załącznik XII.5.1

	Ograniczenie gromadzenia się osadów w skraplaczach	Prędkość wody >0,8 m/s	Zależy od podatności na korozję materiału, jakości wody i zabezpieczenia powierzchni	Załącznik XII.3.2
	Zapobieganie zatykaniu	Korzystanie z filtrów w celu zabezpieczenia wymienników przed odpadkami, tam gdzie istnieje ryzyko zablokowania		Załącznik XII
Układy chłodzenia z jednorazowym przepływem	Ograniczenie podatności na korozję	Stosowanie w układach chłodzenia wody stali węglowej, tam gdzie dopuszczana jest pewna korozja	Nie dla słonawej wody	Załącznik IV.1
	Ograniczenie podatności na korozję	W wypadku kanałów podziemnych stosowanie wzmocnionych włóknem szklanym tworzyw, powlekanego wzmocnionego betonu lub powlekanej stali węglowej		Załącznik IV.2
	Ograniczenie podatności na korozję	W środowisku silnie korozyjnym stosować w wymiennikach płaszczowo-rurowych tytan lub stal nierdzewną o podobnej odporności	Tytan nie w redukującym środowisku, zoptymalizowana kontrola biologicznego osadzania może okazać się konieczna	Załącznik IV.2
Mokre wieże z obiegiem otwartym	Ograniczenie zabrudzenia w warunkach zasolonej wody	Zastosować wypełnienie o niskiej skłonności do osadzania i wzmocnieniu ze względu na duże obciążenia		Załącznik IV.4
	Unikanie niebezpiecznych substancji ze względu na uzdatnianie przed osadzaniem	Obróbka drewnianych części CCA lub farbami zawierającymi TBTO <u>nie jest BAT</u>		Część 3.4 załącznik IV.4

Mokre wieże chłodnicze z ciągiem naturalnym	Ograniczenie uzdatniania przed osadzaniem	Zastosować wypełnienie przy uwzględnieniu miejscowej jakości wody (np. dużego stężenia części stałych, kamienia)		Załącznik XII.8.3
---	---	--	--	-------------------

#### 4.6.3.2 Ograniczenie zanieczyszczeń przez optymalizację uzdatniania wody chłodzącej

**Tabela 4.7 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji do wody przez optymalizację uzdatniania wody chłodzącej**

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnośniki
Wszystkie mokre układy chłodzenia	Ograniczenie stosowania dodatków	Monitorowanie i kontrola środków chemicznych dodawanych do wody		Część 3.4 załącznik XI.7.3
	Używanie mniejszej ilości niebezpiecznych substancji chemicznych	<u>Nie uznaje się za BAT</u> wykorzystywania <ul style="list-style-type: none"> <li>• związków chromu</li> <li>• związków rtęci</li> <li>• związków metaloorganicznych (np. związek cynometaliczny)</li> <li>• mercaptobenzothiazole</li> <li>• wsadowe uzdatnianie substancjami biocydalnymi innymi niż chlor, brom, ozon i H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></li> </ul>		Część 3.4 załącznik VI
Otwarte układy chłodzenia z jednorazowym przepływem i mokre wieże z obiegiem otwartym	Celowe dozowanie biocydów	Monitorowanie makroosadzania w celu optymalizacji dozowania biocydów		Załącznik XI.3.3.1.1

Otwarte układy chłodzenia z jednorazowym przepływem	Ograniczone stosowanie biocydów	Przy temperaturze wody poniżej 10-12°C nie używać biocydów	W niektórych regionach może być potrzebne uzdatnianie zimną (porty)	Załącznik V
	Ograniczenie emisji wolnych utleniaczy (FO)	Używać różnych czasów przebywania i prędkości wody przy poziomie 0,1 mg/l wolnych utleniaczy lub wolnych szczątkowych utleniaczy na wylocie	Nie ma zastosowania dla skraplaczy	Rozdz.3.4 załącznik XI.3.3.2
	Emisje wolnych (szczątkowych) utleniaczy	≤ 0,2 mg/l wolnych utleniaczy lub wolnych szczątkowych utleniaczy na wylocie dla stałego chlorowania wody morskiej	Średnia wartość dzienna (24h)	Załącznik XI.3.3.2
	Emisje wolnych (szczątkowych) utleniaczy	≤ 0,2 mg/l wolnych utleniaczy lub wolnych szczątkowych utleniaczy na wylocie dla przerywanego i wsadowego chlorowania	Średnia wartość dzienna (24h)	Załącznik XI.3.3.2
	Emisje wolnych (szczątkowych) utleniaczy	≤ 0,5 mg/l wolnych utleniaczy lub wolnych szczątkowych utleniaczy na wylocie dla przerywanego i wsadowego chlorowania	Godzinowa średnia wartość w okresie jednego dnia użyta do kontroli wymagań procesu	Załącznik XI.3.3.2



	Redukcja związków formowanych przez utlenianie w świeżej wodzie	Stałe chlorowanie słodkiej wody <u>nie jest BAT</u>		Rozdz.3.4 załącznik XII
Mokre wieże z obiegiem otwartym	Redukcja ilości podchlorynu	Działanie w przedziale twardości $7 \leq \text{pH} \leq 9$ wody chłodniczej		Załącznik XI
	Redukcja ilości biocydów i ograniczenie zrzutu wody	Stosowanie biofiltracji na bocznych obiegu jest BAT		Załącznik XI.3.1.1
	Redukcja emisji szybko hydrolizujących biocydów	Tymczasowe zamykanie zrzutu po dozowaniu		Część 3.4
	Zastosowanie ozonu	Poziomy obróbki $\leq 0,1 \text{ mg O}_3 / \text{l}$	Ocena ogólnego kosztu w porównaniu z zastosowaniem innych biocydów	Załącznik XI.3.4.1

## 4.7 Ograniczanie oddziaływania na powietrze

### 4.7.1 Ogólne działania

Poświęcano relatywnie niewiele uwagi emisjom do powietrza z wież chłodniczych poza efektem tworzenia się chmury oparów. Na podstawie zgromadzonych danych można wywnioskować, że emisje te są generalnie niewielkie, ale mimo to nie powinno się ich pomijać.

Obniżanie poziomów stężeń w obiegu wody chłodzącej będzie wpływało oczywiście na potencjalne emisje substancji chemicznych w oparach powstających nad wieżą. Można więc ustalić zalecenia, które będą miały charakter BAT.

### 4.7.2 Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki

Tabela 4.8 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji do powietrza

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnosiniki
Wszystkie mokre układy chłodzenia	Zapobieganie osiadaniu oparów na ziemi	Wytwarzanie chmury oparów na odpowiedniej wysokości i przy minimalnej prędkości powietrza na wylocie z wieży		Rozdz.3.5.3
	Zapobieganie tworzeniu się oparów	Stosowanie rozwiązań hybrydowych lub innych technik ograniczania ilości oparów, takich jak dogrzewanie powietrza	Wymaga lokalnej oceny (rejon miejskie, drogi)	Rozdz.3.5.3
Wszystkie mokre układy chłodzenia	Używanie mniej niebezpiecznych materiałów	Używanie azbestu, drewna zabezpieczonego CCA (lub podobnie) lub TBTO <u>nie jest BAT</u>		Rozdz.3.8.3
	Zapobieganie oddziaływaniu na jakość powietrza wewnątrz budynków	Projektowanie i sytuowanie wylotów wież, tak, aby uniknąć ryzyka zasysania przez systemy klimatyzacyjne	Uważa się, że jest to mniej ważne dla wysokich wież z dużym naturalnym ciągiem	Część 3.5
Wszystkie mokre układy chłodzenia	Ograniczenie strat przez wciąganie	Stosowanie odkraplaczy o stracie < 0,01% ogólnego natężenia przepływu przez wieżę	Ma być utrzymany mały opór dla przepływu powietrza	Część 3.5 i XI.5.1

## 4.8 Ograniczanie emisji hałasu

### 4.8.1 Ogólne działania

Hałas wpływa na lokalne środowisko. Emisja hałasu z instalacji chłodzenia jest częścią ogólnej emisji hałasu w danym miejscu. Wszędzie tam gdzie jest to potrzebne, znanych jest wiele sposobów bezpośredniego i pośredniego ograniczania hałasu. Sposób bezpośredni to taki, który zmienia moc akustyczną źródła, a sposób pośredni ogranicza poziom emitowanego hałasu. Sposób pośredni w szczególności będzie prowadził do starty ciśnienia, czego wynikiem będzie wzrost poboru mocy i zmniejszenie ogólnej sprawności układu chłodzenia. Ostateczny wybór techniki zmniejszania hałasu, jak również oczekiwana skuteczność będzie sprawą indywidualną. Wymienione poniżej sposoby i minimalne poziomy redukcji są traktowane jako BAT.

### 4.8.2 Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT

Tabela 4.9 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia emisji hałasu

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Wymagany poziom obniżenia	Odnosiniki
Wieże chłodnicze z naturalnym ciągiem	Zmniejszenie hałasu opadającej wody od strony wlotu powietrza	Dostępne są różne techniki zmniejszania hałasu	$\geq 5$ dB(A)	Część 3.6
	Zmniejszenie emisji hałasu wokół podstawy wieży	Np. zastosowanie wałów ziemnych lub ścian akustycznych	$< 10$ dB(A)	Część 3.6
Wieże chłodnicze z ciągiem wymuszonym	Zmniejszenie hałasu wentylatorów	Stosowanie cichych wentylatorów o następujących cechach np.: – duża średnica – zmniejszona prędkość ( $\leq 40$ m/s)	$< 5$ dB(A)	Część 3.6
	Zoptymalizowanie konstrukcji dyfuzora	Odpowiednia wysokość lub montowanie tłumików	Zmienny	Część 3.6
	Zmniejszenie hałasu	Tłumienie hałasu na wlocie i wylocie powietrza	$\geq 15$ dB(A)	Część 3.6

## 4.9 Ograniczanie ryzyka nieszczelności

### 4.9.1 Ogólne działania

Aby ograniczyć ryzyko wycieku, należy zwrócić szczególną uwagę na konstrukcję wymiennika ciepła oraz zagrożenie, jakie stanowią, użyte w procesie technologicznym substancje i konfiguracje systemu chłodzenia. Istnieją następujące ogólne sposoby ograniczenia ryzyka wycieków:

- wybór odpowiedniego dla jakości stosowanej wody materiału do konstrukcji urządzeń w natryskowych układach chłodzenia;
- korzystanie z układu zgodnie z jego projektem;
- jeżeli potrzebne jest uzdatnianie wody chłodzącej, należy dobrać odpowiedni program uzdatniania;
- monitorowanie wycieków do wody chłodzącej w obiegu układu natryskowego chłodzenia przez analizę wody zrzutowej.

### 4.9.2 Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT

Tabela 4.10 Najlepsze dostępne techniki BAT dla ograniczenia ryzyka nieszczelności

Dotyczy <sup>1)</sup>	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnośniki
Wszystkie wymienniki ciepła	Unikać małych pęknięć	$\Delta T$ na wymienniku ciepła $\leq 50^{\circ}\text{C}$	Rozwiązania techniczne dla wyższych $\Delta T$ rozpatrywać indywidualnie	Załącznik III
Wymienniki płaszczowo-rurowe	Działanie zgodnie z warunkami projektowymi	Monitorować przebieg procesu		Załącznik III.1
	Wzmocnienie konstrukcji połączenia rur z dnem sitowym	Zastosowanie spawania	Spawanie nie zawsze może być zastosowane	Załącznik III.3
Urządzenia	Ograniczanie korozji	T metalu po stronie wody chłodzącej $< 60^{\circ}\text{C}$	Temperatura wpływa na hamowanie korozji	Załącznik IV.1
Otwarte układy chłodzenia z jednorazowym przepływem	Wynik VCI*) = 5-8	$P_{\text{wody chłodzącej}}$ układu bezpośredniego $> P_{\text{procesu}}$ oraz monitorowanie	Natychmiastowe działania na wypadek wycieku	Załącznik VII

	Wynik VCI*) = 5-8	$P_{\text{wody chłodzącej}}$ układu bezpośredniego = $P_{\text{procesu}}$ oraz automatyczne monitorowanie analityczne	Natychmiastowe działania na wypadek wycieku	Załącznik VII
	Wynik VCI*) $\geq 9$	$P_{\text{wody chłodzącej}}$ układu bezpośredniego $> P_{\text{procesu}}$ oraz automatyczne monitorowanie analityczne	Natychmiastowe działania na wypadek wycieku	Załącznik VII
	Wynik VCI*) $\geq 9$	Układ bezpośredni z wymiennikiem o materiale bardzo odpornym na korozję/ automatyczne monitorowanie analityczne	Działania automatyczne na wypadek wycieku	Załącznik VII
	Wynik VCI*) $\geq 9$	Zmiana technologii na – układ pośredni – układ cyrkulacyjny – chłodzenie powietrzem		Załącznik VII
	Chłodzenie substancji niebezpiecznych	Ciągłe monitorowanie wody chłodzącej		Załącznik VII
	Zastosowanie konserwacji zapobiegawczej	Badanie za pomocą prądów wirowych	Są dostępne inne metody badania nieniszczącego	
Układy chłodzenia z recyrkulacją	Chłodzenie substancji niebezpiecznych	Ciągłe monitorowanie zrzutu wody		

<sup>1)</sup> Tabela nie ma zastosowania dla skraplaczy

\*) VCI - volatile corrosion inhibitor – lotny inhibitor korozji.

## 4.10 Ograniczanie ryzyka biologicznego

### 4.10.1 Ogólne działania

Do ważnych działań, które pozwolą ograniczyć biologiczne ryzyko związane z pracą systemów chłodzenia, należy kontrola temperatury i okresowa konserwacja, zapobieganie powstawaniu kamienia i korozji. Wszystkie te działania mniej lub bardziej mieszczą się w ramach ogólnej poprawnej eksploatacji cyrkulacyjnych obiegów chłodzenia. Bardziej krytycznymi momentami są rozruchy, gdy warunki pracy układu nie są optymalne, a także okresy postoju spowodowane

naprawą i konserwacją. W wypadku projektowania nowych wież należy zwrócić uwagę na sąsiedztwo tzw. wrażliwych obiektów, jak szpitale, szkoły, domy opieki dla osób starszych.

#### 4.10.2 Ustalone techniki ograniczania zanieczyszczeń przy użyciu zasad najlepszej dostępnej techniki BAT

Tabela 4.11 Najlepsze dostępne techniki dla ograniczenia biologicznego wzrostu

Dotyczy	Kryterium	Podstawowe podejście BAT	Uwagi	Odnośniki
Wszystkie mokre układy chłodzenia z recyrkulacją	Ograniczenie tworzenia się alg	Ograniczenie dostępu energii świetlnej do wody chłodzącej		Część 3.7.3
	Ograniczenie wzrostu biologicznego	Unikać (projektując) martwych stref i stosować optymalne uzdatnianie chemiczne		
	Czyszczenie po skażeniu	Połączenie czyszczenia mechanicznego i chemicznego		Część 3.7.3
	Kontrola patogenów	Okresowe monitorowanie występowania patogenów w systemie chłodzenia		Część 3.7.3
Otwarte mokre wieże chłodnicze	Ograniczenie ryzyka infekcji	Obsługa powinna nosić maskę ochronną na usta i nos (maskę-P3) przy wchodzeniu do wnętrza mokrej wieży	Gdy układ natrysku lub układ ciśnieniowego mycia jest włączony	Część 3.7.3



## 5 WNIOSKI KOŃCOWE

### 5.1 Harmonogram prac

Praca nad powyższym dokumentem referencyjnym dotyczącym najlepszych dostępnych technik BAT rozpoczęła się w czerwcu 1997 roku. W trakcie pierwszego, otwierającego spotkania, które odbyło się 19-20 czerwca 1997 roku, określono zakres przyszłego dokumentu i kluczowe zagadnienia dotyczące ochrony środowiska, których miał on dotyczyć. Początkowo dokument miał obejmować również systemy próżniowe, jednak ze względu na skomplikowany charakter zagadnienia związanego ściśle ze specyficznymi procesami technologicznymi, postanowiono wyłączyć je z opracowania.

Technicznej Grupie Roboczej (TWG) przedstawiono do konsultacji dwa szkicowe opracowania. Pierwsze wydano w czerwcu 1999 roku, a drugie w marcu 2000 roku. W trakcie konsultacji dotyczących obu dokumentów zgłoszono szereg komentarzy i informacji uzupełniających.

Na zamykającym spotkaniu Technicznej Grupy Roboczej (TWG), które odbyło się 29-31 maja 2000 roku, osiągnięto daleko idące porozumienie zarówno co do treści dokumentu, jak i wniosków dotyczących BAT. Ogólnie zaaprobowano wnioski w kwestii BAT dotyczące horyzontalnego wątku przemysłowych procesów chłodzenia. Szczególnie dokładnie omawiano wpływ lokalnych uwarunkowań na wnioski dotyczące BAT. Dyskutowano również na temat optymalizacji obróbki wody chłodniczej, która stanowi istotny element działania układów chłodzenia. W końcowym raporcie umieszczono wszystkie komentarze i nowe informacje ogłoszone w czasie spotkania i po jego zakończeniu.

W głównej części dokumentu objaśniono ogólne podejście pozwalające osiągnąć poziomy odpowiadające BAT w przemysłowych układach chłodzenia. W rozdziale 4 przedstawiono główne wnioski na temat BAT. Załączniki ilustrują ogólną koncepcję na podstawie praktycznych przykładów.

### 5.2 Źródła informacji

Przy sporządzaniu powyższego dokumentu korzystano z takich źródeł informacji, jak dokumentacja, raporty i informacje od użytkowników instalacji chłodzenia, jak również od dostawców urządzeń i środków chemicznych.

Za główne źródła informacji można uznać takie dokumenty jak tm001 (Holandia), tm056 i tm132 (Energetyka) oraz tm139 (Dostawcy urządzeń). Inne dostarczone informacje koncentrowały się bardziej na konkretnych zagadnieniach dotyczących ochrony środowiska, gdzie większą wagę przykładano do zagadnień obróbki wody chłodzącej.

Dalsze informacje uzyskano podczas wizyt w istniejących obiektach i w trakcie rozmów z użytkownikami na temat wyboru odpowiednich technologii oraz praktycznych doświadczeń z zastosowaniem różnych technik ograniczania zagrożeń.

### 5.3 Zalecenia dla dalszych prac

Chłodzenie jest istotnym elementem wielu procesów przemysłowych. Ocena najlepszych dostępnych technik dla systemów chłodzenia przemysłowego ujawniła, że zarządzanie ciepłem, dobór i eksploatacja układów chłodzenia oraz wynikające z tego emisje do środowiska są ze sobą bezpośrednio powiązane. Jednakże w procesie tworzenia tego dokumentu referencyjnego BREF nie udało się ustalić przykładów, które zilustrowałyby ilościowo tę zasadę, stąd uważa się, że przyszły dokument referencyjny BREF będzie mógł zawierać wyniki prowadzonych dalej poszukiwań.

Prace Technicznej Grupy Roboczej wykazały jednoznacznie, że w ramach najlepszych dostępnych technik BAT dla układów chłodzenia można już zastosować wiele konkretnych technik. Jest to jednak złożony problem wymagający uwzględnienia zasad termodynamiki i wzajemnych oddziaływań parametrów procesu technologicznego. Najlepsze dostępne techniki BAT dla układów chłodzenia opierają się na równowadze między wymaganiami chłodzonego procesu technologicznego, a konstrukcją, działaniem i kosztami układu chłodzenia. W tym celu opracowano podejście odpowiadające BAT, które skupia się na zapobieganiu [emisjom] poprzez zmiany technologiczne i na poprawie bieżącej pracy układów. W podejściu tym rozróżnia się nowe układy chłodzenia od istniejących, jednak w tym dokumencie podkreśla się, że działania ograniczające emisje mają w obu przypadkach ten sam cel. Innymi słowy, zarówno w nowych, jak i istniejących układach stosowane jest to samo podejście, z tym, że w istniejących układach możliwości redukcji mogą być ograniczone.

Rozdział 4 tego dokumentu pokazuje, że proces wymiany informacji pozwolił na zidentyfikowanie wielu technik, które ogólnie można uznać za BAT.

Jednakże trudne okazało się ustalenie sposobów chłodzenia, które spełniałyby pierwotne warunki BAT. W ramach horyzontalnego podejścia do przemysłowych systemów chłodzenia trudno jest określić konkretne techniki ograniczania oddziaływania na środowisko, zwłaszcza, gdy ogólnie nakreślone zasady ich stosowania nie są oczywiste.

Szczegółowe informacje na temat praktycznych przykładów zmian technologii z odpowiadającymi im ograniczeniami emisji, które ilustrowałyby potencjalną poprawę parametrów, nie są dostępne, ponieważ te same zmiany w podobnych układach chłodzenia mogą powodować różny poziom redukcji. Dla porównywania efektywności układów konieczne jest stosowanie porównywalnych jednostek, dlatego proponuje się, aby dane te porównywać w przeliczeniu na jednostkę rozproszonego ciepła ( $MW_{th}$ ). Tam gdzie było to możliwe, przykłady takich danych zostały przedstawione w tym dokumencie.

W dokumencie tym poświęcono szczególną uwagę ograniczaniu emisji do środowiska wodnego przez przemysłowe układy chłodzenia. Zgromadzono tylko niewielką liczbę danych, które można by uznać za reprezentatywne. Zaleca się więc dalsze gromadzenie tych danych dla uzyskania lepszego obrazu sytuacji. Posłużą one w przyszłości jako kryterium oceny wyników poszczególnych technik ograniczania oddziaływania na środowisko.

Techniczna Grupa Robocza (TWG) uznała, że odpowiedni dobór dodatków do wody chłodzącej stanowi ważny sposób ograniczania potencjalnie szkodliwych emisji do środowiska wodnego. Uznano, iż konieczne będzie dobranie, na poziomie lokalnym, odpowiednich ogólnych procedur oceny, które uwzględnią lokalne uwarunkowania. W niniejszym dokumencie referencyjnym BREF przedstawiono dwie koncepcje pomocne w lokalnej ocenie dodatków do wody chłodzącej.

Techniczna Grupa Robocza (TWG) uważa obie te koncepcje za cenne narzędzie, choć wzorcowa koncepcja oceny pozostaje wciąż modelem teoretycznym wymagającym dalszej weryfikacji.

Choć mokre wieże chłodnicze mogą emitować do powietrza środki chemiczne lub bakterie, członkowie Technicznej Grupy Roboczej (TWG) byli zgodni co do tego, że istnieje bardzo mało konkretnych danych na ten temat. Aby jednoznacznie stwierdzić jak ważne jest to oddziaływanie, należałoby dokonać dokładnych ilościowych pomiarów, które uwzględniłyby wymagany stopień uzdatnienia wody i sprawność odkraplaczy. Niezbędne jest prowadzenie dalszych badań w oparciu o zdobyte dane.

W niektórych Państwach Członkowskich już teraz poświęcono wiele uwagi rozwojowi bakterii *Legionella* w natryskowych wieżach chłodniczych z powodu ostatnio zaistniałych przypadków zakażenia *Legionellą*. Z tego powodu również stosunkowo duża część tego dokumentu poświęcona została temu problemowi. Z uzyskanych informacji wynika jasno, że konieczne jest prowadzenie dalszych prac w celu ustalenia reprezentatywnych poziomów koncentracji tej bakterii oraz ulepszenia sposobów mycia układów po zakażeniu, jak również przy codziennej konserwacji.

Nie ustalono jeszcze maksymalnego dopuszczalnego poziomu jednostek formowania koloni bakterii w układzie chłodzenia, który wiąże się z małym ryzykiem skażenia. Obecnie nie wiadomo, czy można ustalić taki poziom, co jednak może zostać wyjaśnione w toku dalszych badań.

Ustalono wiele technik, które można uznać za BAT, jednak wiele z nich jest wciąż w fazie badań i można je jedynie uznać za nowo powstające. Ich stosowanie i oddziaływanie na środowisko muszą wciąż podlegać ocenie. Do przykładów takich technik należą baseny natryskowe (lub wyparne) oraz akumulatory zimna i ciepła.

Zaleca się, aby co trzy lata dokonywać korekty niniejszego dokumentu w celu uwzględnienia wyżej wymienionych problemów.

**BIBLIOGRAFIA**

[Comment-1, ... – Komentarz-1, ...]

Informacja przekazana jako komentarz dot. pierwszego projektu dokumentu referencyjnego BREF przez Członka Technicznej Grupy Roboczej TWG (Państwo Członkowskie lub instytucję)

[Correia, 1995]

Correia F.N. i in., Water availability, uses and institutions in Europe, Raport: streszczenie i zagadnienia horyzontalne, Congres Center Instituto Superior Técnico (Lissabon (P), 1995).

[Hadderigh, 1978]

Hadderigh, R.H., 1978. Mortality of young fish in the cooling water system of Bergum power station. Verh. Internat. Verein. Limnol., tom 20, str. 1827-1832.

[Haddingh, 1983]

Haddingh, R.H. et al., 1983. Fish impingement at power stations situated along the rivers Rhine and Meuse in the Netherlands. Hydrobiological Bulletin 17 (2), str. 129-141.

[KEMA, 1972]

KEMA, 1972. Invloed van maaswijdte van de draaizeven op passage en overleving van met het koelwater ingezogen jonge vis bij de Flevo-centrale. KEMA-memorandum VII 78-87, MO-biol.

[KEMA, 1982]

KEMA, 1982. Visproblemen bij de inlaat van centrales; samenvatting van een voordracht op de 22<sup>e</sup> vergadering van de Kring van Chemici van Centrales. KEMA-memorandum 82-12 MO-biol.

[KEMA, 1992]

KEMA, 1992. Bemonstering van ingezogen vis bij eenheid 13 van centrale Gelderland in maart, juli en november van 1990 en 1991. KEMA-rapport 71176-MOB 92-3652.

[Carter and Reader, w druku]

Carter, K.L. and J.P. Reader, Patterns of drift and power station entrainment of 0<sup>+</sup> fish in the River Trent, England.

[tm001, Bloemkolk, 1997]

Bloemkolk, J.W. Industrial cooling water discharge. Cooling systems and emissions. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dyrekcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr 95.050 (Lelystad (NL), 1995, wersja angielska 1997). ISBN 9036945445

[tm003, Van der Schaaf, 1995]

Schaaf R.J van der., Eindrapport alternatieve koelsystemen industrie. Raport końcowy: Fluor Daniel na zlecenie Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwa Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dyrekcji Generalnej Zasobów Wodnych], RIZA (Lelystad (NL), 1995).

[tm004, Baltus and Berbee, 1996]

Baltus C.A.M., Berbee R.P.M., Het gebruik van biociden in recirculatiekoelsystemen.

Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dyrekcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr 95.036 (Lelystad (NL), 1996). ISBN 903694550X.

[tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

Donk M van., Jenner H.A., Optimization of biofouling control in industrial cooling water systems with respect to the environment. Wyd. KEMA, na zlecenie RIZA (Arnhem (NL), 1996).

[tm010, Betz, 1991]

Betz handbook of industrial water conditioning, IX wydanie, Trevese, U.S.A (1991).

[tm012, UBA, 1982]

Umweltbundesamt, Abwärmekommission (edit.) Abwärme - Auswirkungen, Verminderung, Nutzung, Bericht 82-3, Berlin (D) 1982.

[tm014, KEMI, 1991]

Kemikalieinspektionen 6/91 (Solna, (S), 1991). Miljöfarligheten hos mikrobiocider i kylvatten. (ISSN: 0284-1185).

[tm032, Zimmerman and Hamers, 1996]

Zimmerman, P. i J.P. Hamers, Planung und Bau eines Schwadenfreien geräuscharmen Hybridkühlturmes mit einer umweltschonenden Wasserbehandlung durch Ozon für ein GuD-Kraftwerk in den Niederlanden, VGB Kraftwerkstechnik 76, 1996, Heft 6 (p.502-505).

[tm034, Hobson et al., 1995]

Hobson, E., P. Lindahl i T. Massey, Leistungssteigerung mit Kühlturmeinbauten aus NPF (National Power Fill), VGB Kraftwerkstechnik 75, Heft 9 (p. 829-833)

[tm036, Wilsey, 1997]

Wilsey, C.A., Alternative water treatment for cooling towers. ASHRAE Journal kwiecień, 1997 (str.43-46).

[038, Millar et al., 1997]

Millar, J.D., G.K. Morris and B.G. Shelton, Legionnaires' disease: seeking effective prevention, ASHRAE Journal, 1997 (str.22-29)

[tm039, Strittmatter et.al., 1996]

Strittmatter, R.J., Yang B., Johnson D.A., Ozone application for cooling tower water. ASHRAE Journal, 1996.

[tm040, Schulze-Robbecke and Richter, 1994]

Schulze-Röbbecke, R. and Richter, M., Entstehung und Vermeidung von Legionelleninfektionen durch Kühltürme und Rückkühlwerke, GI Gesundheits -Ingenieur Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 115, 1994 (p.71-77).

[tm041, Burger, 1994]

Burger, R., Select the right cooling tower fill, Hydrocarbon Processing, sierpień 1994 (str. 141-143).

[tm042, Veil and Moses, 1995]

Veil, J.A., Moses, D.O., Consequences of proposed changes to clean water act thermal discharge requirements. Referat przedstawiony EPRI, International Clean Water Conference [Międzynarodowa Konferencja ds. Czystej Wody], (Jolla, CA (USA), 1995).

[tm044, Carhart and Policastro, 1991]

Carhart, R.A. i Policastro, A.J., A second-generation model for cooling tower plume rise and dispersion – I. Single sources. Atmospheric Environment tom 25A, nr 8, 1991 (str. 1559-1576).

[tm046, Vanderheyden and Schuyler, 1994]

Vanderheyden, M.D., Schuyler, G.D., Evaluation and quantification of the impact of cooling tower emissions on indoor air quality, ASHRAE Transactions of Annual Meeting [Ustalenia Dorocznego Spotkania ASHRAE], tom 100, część 2 (str. 612-620)

[tm056, Caudron, 1991]

Caudron, L., Les réfrigérants atmosphériques industriels, éditions Eyrolles, Paris (1991).

[tm059, Mortier, 1995]

Mortier, R., Pretreatment and desalting of contaminated and brackish surface water with reverse osmosis, Protokół z Watersymposium 1995 (str.144-158), Breda (NL).

[tm059, Paping, 1995]

Paping, L.L.M.J., Energiebesparing door schone koelers, Protokół z Watersymposium 1995 (p.23-47), Breda (NL).

[tm061, Eurovent/Cecomaf, 1997]

Eurovent/ (WG 9, Cooling towers), Mechanical draught cooling tower acoustics, practical guide, Paris, Draft grudzień 1997.

[tm062, Dallmier, 1997]

Dallier, A.W., J.D. Martens i W.F. McCoy, Performance of stabilized halogen biocides in cooling water, Raport 398, Naperville, Illinois (USA), 1997).

[tm064, Meier, 1990]

Meier, D.A., Zero blowdown - A solution for water conservation, International Water Conference [Międzynarodowa Konferencja ds. Wody], październik 1990, Wznowienie nr 529.

[tm065, Meier and Fulks, 1990]

Meier, D.A. i K.E. Fulks, Water treatment options and considerations for water reuse, National Association of Corrosion Engineers Corrosion '90 meeting [Spotkanie Narodowego Stowarzyszenia Inżynierów ds. Korozji Corrosion '90], Las Vegas (USA), Wznowienie nr 520.

[tm066, Phillips and Strittmatter, 1994]

Phillips, E.C. i R.J. Strittmatter, Reuse of industrial waste stream as cooling tower makeup, 1994 Coolin Tower Institute Annual Meeting [Doroczne Spotkanie Instytutu Wież Chłodniczych], Houston Texas (USA), 1994).

[tm067, Hoots et al., 1993]



Hoots, J.E., B.V. Jenkins i E.C. Ray, Choosing chemical dosage control for cooling water inhibitors and dispersants, Referat przedstawiony na Meeting of International District Heating and Cooling Association [Spotkaniu Międzynarodowego Okręgu Stowarzyszenia ds. Ogrzewania i Chłodzenia] 27-29 październik, 1993, Tulsa (USA), Wznowienie 622, Nalco.

[tm068, Ambrogi, 1997]

Ambrogi, R., Environmental impact of biocidal antifouling alternative treatments of sea water once-through cooling systems (1997). Protokół z sympozjum o dwutlenku chloru i dezynfekcji, Rzym (I), 1996.

[tm070, Benschop, 1997]

Benschop, P., The evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of surface waters act. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dykcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport numer: 98.005 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036951569.

[tm071, Niebeek, 1997]

Niebeek, G. Procedure for the evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of surface waters act. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dykcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr: 98.006 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036951577.

[tm072, Berbee, 1997]

Berbee R.P.M., Hoe omgaan met actief chloor in koelwater? (How to use active chlorine in cooling water?), Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dykcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr: 97.077 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036951240.

[tm079, CES, 1994]

Consultants in Environmental Sciences Ltd. Biocides in cooling water systems (Beckenham(UK), 1994) na zlecenie Departamentu Środowiska Zjednoczonego królestwa WB i IP.

[tm082, Mittendorf, 1990]

Mittendorf, E.D., Removal of asbestos paper fill from large industrial cooling towers, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1990 r, (Houston, Texas (USA), 1990).

[tm083, Adams and Stevens]

Adams, S. i Stevens, J., Strategies for improved cooling tower economy. Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1991 r, (New Orleans, Louisiana (USA), 1991).

[tm084, Rice and Wilkes, 1992]

Rice R.G. i Wilkes J.F.. Biocidal aspects of ozone for cooling water treatment-probable impacts of bromide ion. Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1992 r, (Houston, Texas (USA), 1992).

[tm086, Van der Spek, 1993]

Spek, H. van der, Reduction of noise generation by cooling fans, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1993, (New Orleans, Louisiana (USA), 1993).

[tm087, Engstrom and Tully, 1994]

Engstrom, G.G. i J.C. Tully, Monitoring biological control in cooling systems, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1994 r, (Houston, Texas (USA), 1994).

[tm090, Grab et al., 1994]

Grab, L.A., J.A. Diemer, M.G. Freid, The effect of process leak contaminants on biocidal efficacy, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1994 r, (Houston, Texas (USA), 1994)

[tm091, Little et al., 1994]

Little D. A., Mitchell WA., E.S. Lawson, The control of ferrous metal corrosion in cooling water by a novel phosphonate corrosion inhibitor. Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1994 r, (Houston, Texas (USA), 1994).

[tm092, Becker and Burdick, 1994]

Becker, B.R. and L.F. Burdick, Drift eliminators and fan system performance, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1994 r, (Houston, Texas (USA), 1994).

[tm093, Mirsky, 1995]

Mirsky, G.R., Cooling tower noise, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1995 r, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm094, Alfano and Sherren, 1995]

Alfano, N.J. and D.J. Sherren, Water conservation via new cooling water technology, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1995 r, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm095, Cunningham, 1995]

Cunningham, R.J., Maximizing cooling tower cycles of concentration, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych], Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm096, McCoy et al., 1995]

McCoy, W.F., S.A. Borchardt, and M.R. Hermiller, Traced biocides: a new technology for industrial water treatment, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1995 r, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm97, Immell, 1996]

Immell, W.F., Variable speed fan drives for cooling towers, Referat przedstawiony na Cooling Tower Institute Annual Meeting [Dorocznym Spotkaniu Instytutu Wież Chłodniczych] w 1996 r, (Houston, Texas (USA), 1996).

[tm101, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Hybrid cooling towers, Ratingen (D), 1996.

[tm102, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Natural draught wet cooling towers-nature's good deed, Ratingen (D), 1996.

[tm103, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Mechanical draught wet cooling towers-cooling air supplied by fan power, Ratingen (D), 1996.

[tm104, Tesche, 1997]

Tesche, W., Selection criteria for different types of cooling towers, Balcke-Dürr Ratingen (D), 1997.

[tm109, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Air-cooled heat exchangers for the hydrocarbon process industry, Ratingen (D), 1996.

[tm110, BDAG, 1995]

Balcke Dürr AG, Technical information on cooling towers for salt water applications (kontakt osobisty)

[tm111, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Air-cooled heat exchangers, Ratingen (D), 1996.

[tm113, Streng, 1996]

Streng, A., Combined wet/dry cooling towers of a cell-type construction, American Power Conference [Konferencja Energetyki Amerykańskiej] 58. Doroczne Spotkanie, (Chicago (USA), 1996).

[tm117, Remberg and Fehndrich, 1993]

Remberg, H.-W. i B. Fehndrich, Wirkungsgradverbesserung bei naturzug-Nasskühltürmen durch Austausch von Asbestzement-Kühleinbauten gegen Kunststoff-Kühleinbauten, Kraftwerk und Umwelt, 1993 (str. 112-117).

[tm123, Alt and Mäule, 1987]

Alt, W. i R. Mäule, Hybridkühltürme im wirtschaftlichen Vergleich zu Nass- und Trockenkühltürmen, VGB Kraftwerkstechnik 8, (str. 763-768), 1987.

[tm131, Dziobek, 1998]

Dziobek, Th., Ozon stopft Loch in der Kasse (Ozone fills financial gap in the pocket), Umwelttechnik (Sonderteil Wasser), kwiecień 1998.

[tm132, Eurelectric, 1998]

BAT for Cooling Systems. Eurelectric, The European Grouping of the Electricity Supply Industry [Europejska Grupa Przemysłu Energetycznego], (Bruksela (B), 1997, aktualizowane 1998).

[tm135, Nalco, 1988]

The Nalco Water Handbook, II wydanie, USA (1988).

[tm136, Jäggi/Günthner, 1997]

Jäggi/Günthner, Industrial coolers, informacja technologiczna, wyd. 9.97, Bern (1997).

[tm139, Eurovent, 1998]

Proposal for a BREF-document for cooling systems. Drafted by Coopers & Lybrand Umwelt (1998) zlecenie: Eurovent, the European Committee of Air handling and Refrigeration Equipment manufacturers [Europejski Komitet Producentów Wyposażenia Uzdatniania Powietrza i Chłodzenia]. Raport nr: 61350027.

[tm 144, Cabanes et al., 1997]

Cabanes, P.A., E. Pringuez, F. Siclet, M. Khalanski i P. Pernin, Continuous chlorination to control pathogenic free living amoebae in a closed loop power plant, The Environmental Professional [Specjalista ds. Środowiska], tom 19, 1997 (str.192-200)

[tm145, Werner and Pietsch, 1991]

Werner, H.-P. von, M. Pietsch, Bewertung des Infektionsrisikos durch Legionellen in Kühlkreisläufen von Kraftwerken, VGB Kraftwerkstechnik 71, Heft 8, str. 785-787 (1991)

[tm146, Daamen and Savelkoul, 1999]

Daamen E.J., i J.T.G. Savelkoul, Zijstroom-biofiltratie in open recirculerende koelwatersystemen, W: Protokół z Watersymposium '99, Breda, NL (1999).

[tm147, Bloemkolk and Van der Schaaf, 1996]

Bloemkolk J.W., R.J. van der Schaaf, Design alternatives for the use of cooling water in the process industry: minimization of the environmental impact from cooling systems, J. Cleaner Production tom 4, nr 1, str. 21-27, 1996.

[tm148, RIZA, 1996]

RIZA, Visintrek door grootschalige koelwaterinname, Problematiek en aanbevelingen, FWVO-nota 96.01 (styczeń, 1996).

[tm149, Baltus et al., 1999]

Baltus, C.A.M., L.C.M., Kerkum and P.G.M. Kienhuis, Acute toxiciteit van koelwaterlozingen uit recirculatiekoelsystemen, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dyrekcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr: 99.025 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036952492.

[tm150, Paping, 1999]

Paping, L.L., Feasibility study on application of spray ponds, Kontakt osobisty dot. badania, Dow Europe (Terneuzen (NL), 1999).

[tm151, BAC, 1999]

Baltimore Aircoil, H<sub>2</sub>O conserving HXI hybrid fluid cooler, Ulotka informacyjna, Heist-op-den-Berg (B), 1999.

[tm152, Taft, 1999]

Taft, E.P., Fish protection technologies: a status report. Alden Research Laboratory Inc., Holden (USA), 1999.

[tm153, Paping et al., 1999]

Paping, L.L.M.J., H.A. Jenner, H.J.G. Polman, B.H. te Winkel and M.R. de Potter, Ecological conditioning and optimisation of a once-through cooling water system, Protokół z Watersymposium 1999, str.327 – 355 (Breda (NL), 1999).

[tm154, Besselink et al., 1999]

Besselink, V.V., M.A.M. Beerlage, W. de Jongh and G. Koopmans, Haalbaarheidstudie naar alternatieve koeling door middel van sproeivijvers, Raport KEMA nr 99532763.EP.163 99P01, Arnhem (NL) 1999.

[tm155, Berbee, 1999]

Berbee, R.P.M., Legionella in oppervlaktewater, in koelwater, in RWZI's, in.....; waar eigenlijk niet?, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dyrekcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr: 99.057 (Lelystad (NL), 1999), ISBN 9036952867.

[tm156, Schmittecker et al., 1999]

Schmittecker, B.M., K.-P. Henke i W. Bergmann, Kühlwasserbehandlung mit Ozon. (Cooling water treatment with ozone), VGB KraftwerksTechniek 4/99.

[tm157, Jenner et al., 1998]

Jenner, H.A., J.W. Whitehouse, C.J.L. Taylor and M. Khalansky, Cooling water management in cooling power stations-Biology and control of fouling, Hydroecologie Appliquee, Tome 10, Volume 1-2, 1998, ISSN: 1147-9213.

[tm158, VGB, 1998]

VGB, VGB-Richtlinie, Lärminderung in Wärmekraftanlagen, VGB-R 304, kwiecień 1998.

[tm159, KEMA/EPON, 1993]

KEMA na zlecenie N.V. EPON, Milieu-effect rapport WKC-Nijmegen (Environmental effect report Heat and Power Unit Nijmegen), Arnhem (NL), 1993, Nr ref. KEMA 21446-KEC 92-363.

[tm160, Bijstra, 1999]

Bijstra, D., Verantwoord omgaan met biociden in koelwater. Raport FWVO 99.02. (NL, 1999)

[tm161, Borgerding, 1998]

Borgerding, P.H., Koelsystemen. "Koeling is meer dan warmte alleen". (Cooling systems. "Cooling is more than just heat"). Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management [Ministerstwo Transportu, Robót Publicznych i

Zarządzania Zasobami Wodnymi, Dyrekcja Generalna Zasobów Wodnych], RIZA. Raport nr: 98.056 (Lelystad (NL), 1998), ISBN 9036952107.

[tm164, Travade, 1987]

Travade F., Aspiration d'organismes aux prises d'eau des centrales (RGN, 1, str. 59-62, 1987).

[tm165, Turnpenny et al., 1985]

Turnpenny, A.H.W., T.E. Langford and R.J.Aston, Power Stations and Fish. (Badanie ECB, str. 27-39, 1985).

[tm166, Morton et al., 1986]

Morton, S.J., C.L.R. Bartlett, L.F. Bibby, D.N. Hutchinson, J.V. Dyer, P.J. Dennis, Outbreak of legionnaires' disease from a cooling water system in a power station. British Journal of Industrial Medicine 1986; 43: 630-635.

[tm167, Fliermans, 1996]

Fliermans, C.B., Ecology of *Legionella*: From data to knowledge with a little wisdom. Microbial Ecology 1996; 32: 203 – 228.

[tm168, De Potter et al., 1996]

De Potter, M.R., H.J.G. Polman i B.H. te Winkel, Effectiveness and environmental impact of elevated hypochlorite dosing at Dow Benelux 1995, Raport KEMA 64683-KES/WBR 96-3114

[tm169, De Potter et al., 1997]

De Potter, M.R., H.J.G. Polman i B.H. te Winkel, Effectiveness and environmental impact of elevated hypochlorite dosing at Dow Benelux 1996, Raport KEMA 64683-KES/WBR 97-3128

[tm170, De Potter and Polman, 1999]

De Potter, M.R. and H.J.G. Polman, Effectiveness and environmental impact of elevated hypochlorite dosing at Dow Benelux 1997, Raport KEMA 9756058-KPG/CET 99-4403

[tm171, Polman, 2000]

Polman H.J.G., Antifouling optimisation by pulse-alternating chlorination at Dow Benelux 1999, Raport KEMA 99550566-KPS/MEC.



## 6 ZAŁĄCZNIK PODSTAWY TERMODYNAMICZNE

Teoretycznie każda zmiana w przemysłowym systemie chłodniczym może wpłynąć na proces wymiany ciepła. Stosując najlepsze dostępne techniki BAT w przemysłowych systemach chłodniczych należy ocenić ich konsekwencje dla procesów chłodzenia także przy wykorzystaniu podstaw termodynamiki.

### 6.1 Wymiana ciepła w wymienniku płaszczowo-rurowym

W wymienniku przeciuprądowym ruch ciepła odbywa się od ośrodka ciepłego do zimnego, a wymiana ciepła może być opisana następująco:

$$Q = \Delta T_m (\ln) * U * A$$

Q	ciepło wymieniane w jednostce czasu (W)
$\Delta T_m (\ln)$	średnia logarytmiczna różnica temperatur LMTD (K)
U	współczynnik przenikania ciepła (W/m <sup>2</sup> K)
A	powierzchnia wymiany ciepła (m <sup>2</sup> )

Średnia logarytmiczna różnica temperatur LMTD dla wymiennika typu rura w rurze może być określona następującym równaniem:

$$\Delta T_m = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left\{\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}\right\}}$$

T <sub>1</sub>	temperatura na wlocie po stronie ciepłego czynnika (K)
T <sub>2</sub>	temperatura na wylocie po stronie ciepłego czynnika (K)
t <sub>1</sub>	temperatura na wlocie po stronie zimnego czynnika (K)
t <sub>2</sub>	temperatura na wylocie po stronie zimnego czynnika (K)

Wymiana ciepła jest większa przy dużej powierzchni (A). W przypadkach, gdzie ze względów praktycznych wielkość powierzchni wymiany jest ograniczona, stosuje się rury ożebrowane. Z drugiej strony, wymiana ciepła jest ograniczona w wyniku różnych źródeł oporu (R). Generalnie, opór przenikania R jest wyrażony jako odwrotność współczynnika przenikania ciepła 1/U i w dużym stopniu zależy od grubości ścianki między dwoma czynnikami, od współczynnika przewodzenia ciepła materiału ścianki i stanu osadów po obu stronach powierzchni wymiany ciepła, ale również ważne dla wymiany ciepła są współczynniki przejmowania ciepła przy różnych prędkościach przepływu płynów.

W zależności od właściwości czynnika przepływającego przez wymiennik ciepła, na powierzchni wymiany ciepła zbierają się osady. Podczas użytkowania wymiennika, opory przepływu ciepła wzrastają. W projektowaniu stosuje się współczynnik oporu cieplnego zanieczyszczeń, którego maksymalna wartość zależy od właściwości cieczy lub chłodziwa. W tabeli I.1 zaprezentowano kilka przykładów liczbowych; niższa wartość współczynnika zanieczyszczenia osadami świadczy o mniejszych osadach na powierzchni wymiennika ciepła.

**Tabela I.1: Współczynniki zanieczyszczenia osadami dla płaszczowo-rurowych wymienników ciepła, zalecane wartości [Van der Schaaf, 1995]**

Czynnik	Współczynniki zanieczyszczenia osadami (W/m <sup>2</sup> /K)
Woda rzeczna	3000-12000
Woda morska	1000- 3000
Woda chłodząca (wieża chłodnicza)	3000- 6000
Lekkie węglowodory	5000
Ciężkie węglowodory	2000

Dwa zjawiska termodynamiczne są odpowiedzialne za wymianę ciepła: wymiana na drodze przewodzenia (i konwekcji), wymiana na drodze odparowania czynnika.

Wymiana ciepła w suchym układzie chłodniczym na drodze przewodzenia i konwekcji nazywana jest *wymianą ciepła jawnego*. W mokrym układzie chłodniczym woda jest ochładzana przez bezpośredni kontakt z powietrzem. Wymiana ciepła jawnego z powietrzem w suchym układzie chłodniczym może być opisana następująco:

$$Q = C_p * m_a * \Delta T$$

Q ciepło wymieniane  
C<sub>p</sub> ciepło właściwe powietrza  
ΔT różnica temperatur  
m<sub>a</sub> strumień masowy powietrza

W mokrym układzie chłodniczym występuje dodatkowa wymiana ciepła poprzez odparowanie, *wymiana ciepła utajonego*, która może być opisana następującym wzorem:

$$Q = m_a' * \Delta H$$

Q ciepło wymieniane  
m<sub>a</sub>' strumień masowy powietrza  
ΔH różnica entalpii

Równania te pozwalają porównać strumienie masy powietrza niezbędne do chłodzenia suchego i wilgotnego:

$$\frac{m_a'}{m_a} = \frac{C_p * \Delta T}{\Delta H}$$

Stosunek ten zależy od różnicy temperatur ΔT i na przykład przy wzroście temperatury powietrza z 10 do 20°C stosunek ten wynosi około 1:4. W tym przypadku oznacza to, że przy suchym chłodzeniu potrzeba czterokrotnie więcej powietrza, niż przy chłodzeniu mokrym. Innymi słowy, przy suchym chłodzeniu wymagana jest większa powierzchnia wymiany ciepła.

## 6.2 Temperatura spiętrzenia

Ważnym elementem dla układu chłodzenia jest zapewnienie dostatecznej siły napędowej w celu osiągnięcia wymiany ciepła. Konieczna jest minimalna różnica temperatur pomiędzy strumieniem wpływającym i wypływającym, tzn. różnica pomiędzy temperaturą czynnika opuszczającego wymiennik ciepła, a temperaturą chłodziwa (wody lub powietrza) wpływającego do wymiennika opartego na przepływie przeciwpłdowym. Ta różnica temperatur nazywana jest *temperaturą spiętrzenia*. Dla mokrych wież chłodniczych temperatura spiętrzenia jest definiowana jako różnica pomiędzy temperaturą mokrego termometru powietrza, a temperaturą czynnika chłodzącego opuszczającego wieżę. Dla suchej wieży chłodniczej temperatura spiętrzenia jest definiowana jako różnica temperatur między temperaturą suchego termometru powietrza i temperaturą czynnika chłodzącego opuszczającego wieżę.

System chłodzenia jest projektowany tak, aby spełniał wymagania przez cały rok. Oczywiście, gdy temperatury wody i powietrza utrzymują się na niskim poziomie, wymagania są spełniane bez trudu. Jednakże wyższe temperatury mogą stanowić problem zarówno dla samego procesu, jak i dla środowiska. Poprzez długotrwałe podtrzymanie niższego przepływu czynnika procesowego lub długotrwałe podtrzymanie zwiększonego przepływu czynnika chłodzącego, wymagania dotyczące temperatury mogą być spełnione. Istnieją jednak projektowe ograniczenia takiego postępowania. Systemy są często tak projektowane, aby wytyczne dotyczące temperatury nie były przekraczane o więcej niż 5%, w skali rocznej.

Dla chłodzenia wodnego minimalna temperatura spiętrzenia w wymienniku ciepła wynosi 3 - 5 K. Niższe wartości mogą być osiągnięte, ale wymaga to większej, a więc i droższej, powierzchni wymiany ciepła. Przy większej liczbie wymienników ciepła w układach chłodzenia poszczególne temperatury spiętrzenia muszą być zsumowane, przy czym większa liczba wymienników wiąże się z wyższą temperaturą spiętrzenia. W wieżach chłodniczych temperatura spiętrzenia często wynosi od 7 do 15 K.

Dla skraplaczy energetycznych pojęcie „różnicy cieplnej”, stosowane w miejsce temperatury spiętrzenia, wskazuje różnicę temperatury kondensatu (pary) oraz temperatury wody chłodzącej opuszczającej skraplacz. By obliczyć temperaturę, w której przebiega kondensacja, należy zsumować „różnicę cieplną” i wzrost temperatury wody chłodzącej. W przypadku stosowania wież chłodniczych, trzeba również dodać temperaturę spiętrzenia. Doświadczenie pokazuje, że w przypadku skraplaczy energetycznych minimalna wartość temperatury spiętrzenia wynosi 3 – 8 K, w zależności od współczynnika zanieczyszczenia osadami [tm056, Caudron, 1991].

Minimalna końcowa temperatura, jaka może być osiągnięta w systemach chłodniczych, jest określona przez temperaturę spiętrzenia systemu chłodniczego i temperaturę obliczeniową, która zależy od lokalnych warunków klimatycznych.

## 6.3 Wydajność wymiennika ciepła

Wydajność wymiennika ciepła jest to ilość ciepła, która może być przekazana w wymienniku. Wymagana powierzchnia wymiany ciepła w systemach chłodniczych jest zależna od zdolności wymiany ciepła na drodze jawnej i utajonej mediów chłodzących - wody i powietrza i od siły napędowej. Przy projektowaniu należy wziąć pod uwagę wymagania materiałowe,

zanieczyszczenia, straty ciśnienia, prędkość przepływu, wymogi przestrzenne i objętość czynnika chłodzonego (cieczy lub pary).

Całkowita wydajność systemu chłodniczego jest określona przez sumowanie wydajności (lub zdolności wymiany) wszystkich wymienników ciepła:

$$Q_{\text{tot.}} = \sum Q_i \text{ [J/s lub W]} \quad \text{gdzie } Q_i - \text{ wydajność i-tego wymiennika}$$

Ze względu na właściwości fizyczne woda jest idealnym nośnikiem ciepła, gdyż charakteryzuje się wysoką wartością ciepła właściwego. Wymaga zatem małych powierzchni wymiany ciepła. Najbardziej efektywna jest wymiana ciepła poprzez odparowanie wody. Ciepło utajone (parowania wody), porównane z ciepłem właściwym wody dla 30°C jest około 630 razy większe (Hv/C). Ciepło właściwe powietrza, wody i parującej wody są przedstawione w tabeli I.2.

**Tabela I.2 Ciepło właściwe powietrza i wody**

Powietrze: (wymiana ciepła jawnego)	$C_p = 1005,6 + (16,03 \cdot 10^{-3} \cdot t)$	J/kg/K
Woda: (wymiana ciepła jawnego)	$C = 4192$ $C = 4182$	J/kg w 10°C J/kg w 50°C
Parowanie wody: (wymiana ciepła utajonego)	$H_v = 2502$ $H_v = 2431$	J/kg przy 0°C J/kg przy 30°C

## 6.4 Temperatury mokrego i suchego termometru

Temperatura mokrego termometru jest najniższą temperaturą, do której powietrze może być ochłodzone przez adiabatyczne odparowanie. Temperatura mokrego termometru zawsze jest niższa od temperatury suchego termometru i zależy od mierzonej temperatury otoczenia, wilgotności i ciśnienia barometrycznego. Temperatura suchego termometru jest temperaturą powietrza suchego i zarazem bardzo ważnym wskaźnikiem przy projektowaniu chłodnic powietrza, gdzie wymiana ciepła jawnego jest zasadniczym elementem całkowitej wymiany ciepła. Temperatury mokrego i suchego termometru są takie same, gdy powietrze znajduje się w stanie nasycenia.

Przy wymianie ciepła utajonego temperatura mokrego termometru jest istotną wartością, do której teoretycznie może być ochłodzona woda. W przypadku mokrych wież chłodniczych, gdzie transport ciepła odbywa się od wody chłodzącej do powietrza, głównie na drodze odparowania, temperatura mokrego termometru (tj. stopień nasycenia) jest ważnym wskaźnikiem projektowym.

## 6.5 Zależności pomiędzy ciepłem wymienianym a powierzchnią wymiany ciepła

Intensywna wymiana ciepła i podejście wdrożeniowe wymagają stosunkowo małej powierzchni wymiany, dając w rezultacie zwartość konstrukcji i ekonomiczną efektywność wymiany ciepła. Ze względu na mniejszą pojemność cieplną powietrza, suche układy chłodzenia wymagają znacznie większej powierzchni wymiany ciepła i siły napędowej (temperatury spiętrzenia) dla

takiej samej wydajności chłodniczej. Większa powierzchnia wymiany ciepła oznacza zwiększone zapotrzebowanie na miejsce i może wymagać wyższych nakładów inwestycyjnych; nakłady te natomiast nie występują w przypadku uzdatniania wody procesowej i chłodzącej oraz związanych z tym wpływów na środowisko.

Wymagana powierzchnia wymiany ciepła zawsze zależy od czynnika, który będzie chłodzony. Przykładowo tabela I.3 przedstawia współczynniki przenikania ciepła oraz powierzchnie wymiany ciepła dla różnych kombinacji wody chłodzącej i płynów procesowych.

**Tabela I.3 Współczynniki przenikania ciepła i oszacowana powierzchnia A (m<sup>2</sup>) na 1 MW i dla średniej różnicy temperatur 20K dla różnych zastosowań przemysłowych [Bloemkolk, 1997]**

Czynnik po cieplej stronie	Współczynnik przenikania ciepła U (W/m <sup>2</sup> K)	Oszacowana powierzchnia <sup>(2)</sup> A (m <sup>2</sup> / MW)
Płyny		
- organiczny rozpuszczalnik	250 – 750	200 – 600
- lekki olej	350 – 900	55 – 143
- ciężki olej	60 – 300	166 – 830
- gazy	20 – 300	166 – 2500
Skraplające się pary <sup>(1)</sup>		
- para wodna	1000 – 1500	33 – 50
- pary związków organicznych	700 – 1000	50 – 71
- skraplacz próżniowy (woda)	500 – 700	71 – 100
- organiczne (częściowo skraplające się)	200 - 500	100 – 250
Uwagi:		
1. Punkt początkowy $\Delta T(\ln)=20^{\circ}\text{C}$ . Chłodzenie wodą. Obliczenia oparte na współczynniku przenikania ciepła U i traktowane jako porównanie.		
2. W bilansie należy przyjąć, że ilość skroplonej pary na 1kg czynnika osuszonego oddaje więcej ciepła niż w przypadku płynów chłodzących; na 1MW ciepła rozproszonego potrzeba relatywnie mało skraplającej się pary		
3. $Q=U.A. \Delta T(\ln)$		

Dla przykładu można porównać dwa zainstalowane systemy chłodnicze: suchy system chłodniczy oraz system chłodniczy z odparowaniem; wyniki przedstawiono w tabeli I.4.

Sucha wieża chłodnicza o średnicy powierzchni chłodzącej o 20% większej, ma tylko 47% wydajności układu chłodzącego z odparowaniem przy **temperaturze spiętrzenia** wynoszącej odpowiednio 20 K i 12,6 K.

**Tabela I.4 Wpływ sposobu chłodzenia na wydajność, temperaturę spiętrzenia i powierzchnię chłodzącą w układzie chłodzenia [132, Eurovent, 1998]**

Parametry	Sucha wieża chłodnicza z przepływem naturalnym	Mokra wieża chłodnicza z przepływem naturalnym
Wydajność	895 MW <sub>th</sub>	1900 MW <sub>th</sub>
Średnica powierzchni chłodzącej	145 m	120 m
Temperatura spiętrzenia	20 K	12,6 K

Temp. (suchego / mokrego) termometru	14/10 °C	11/9 °C
Minimalne temperatury końcowe	34 °C	21,6 °C



## 7 ZAŁĄCZNIK ZASADY OSZCZĘDZANIA ENERGII PRZEZ OPTYMALIZACJĘ CHŁODZENIA

[TM059, Paping, 1995]

### 7.1 Temat

Niniejszy załącznik zawiera przegląd metod obliczania możliwych oszczędności energii w przypadku, gdy chłodzenie przeprowadzane jest w niskich temperaturach. Oszczędności są wyrażone w odniesieniu do energii pierwotnej, w jednostkach bezwymiarowych  $\text{kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}$  na 1 K różnicy temperatury w samym procesie chłodzenia. Redukcję zużycia energii można osiągnąć dzięki zastosowaniu inhibitorów, które są przyporządkowane do standardowych metod badań. Te inhibitory zapewniają to, że chłodnice wodne podczas lata pozostają czyste. Bezpośrednie lub pośrednie wykorzystanie energii, związane z wyborem jednego z sześciu głównych systemów chłodzenia w tym szczególnym obszarze, można także obliczyć za pomocą tych wartości bezwymiarowych.

### 7.2 Podsumowanie wniosków

- W praktyce rozkład temperatury na grubości warstwy osadów zmienia się w granicach **1 do 4 K**.
- Zimniejsza woda chłodząca w bezpośrednim sąsiedztwie ścianki rury pozwala na zaoszczędzenie energii  $3,5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}/\text{K}$ . Odpowiada to oszczędności 300 EUR na 1  $\text{MW}_{\text{th}}$  chłodzenia w ciągu roku, na 1 K różnicy temperatur.<sup>1</sup>
- Zastosowanie skutecznego sposobu przeciwdziałającego zmniejszaniu się współczynnika przenikania ciepła w warstwie osadów w wymienniku ciepła pozwoliłoby na zaoszczędzenie energii w przemyśle europejskim. Potencjał zaoszczędzenia energii w Europie wynosi  **$11 \text{ PJ}_{\text{th}}$  na rok<sup>(2)</sup> na 1 K**, na każde 100  $\text{GW}_{\text{th}}$  chłodzenia. Odpowiada to redukcji emisji dwutlenku węgla o 700 tysięcy ton rocznie na 1 K, na każde 100  $\text{GW}_{\text{th}}$  chłodzenia w Europie.
- Konsekwencje energetyczne wyboru któregoś spośród sześciu głównych systemów chłodzenia są bardziej znaczne. Różnica w minimalnej, osiągalnej temperaturze wody chłodzącej dla każdego z powyższych wodnych systemów chłodzenia może być również wyrażona w postaci nakładu energii koniecznej do chłodzenia. Ten sam „bezwymiarowy” wskaźnik  $3,5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}/\text{K}$  może być stosowany przy porównywaniu rozwiązań projektowych..
- Zastosowanie pewnych inhibitorów w wodzie chłodzącej daje w rezultacie istotne oszczędności energii. Oszczędności te mogą przekroczyć zawartość energii pierwotnej w

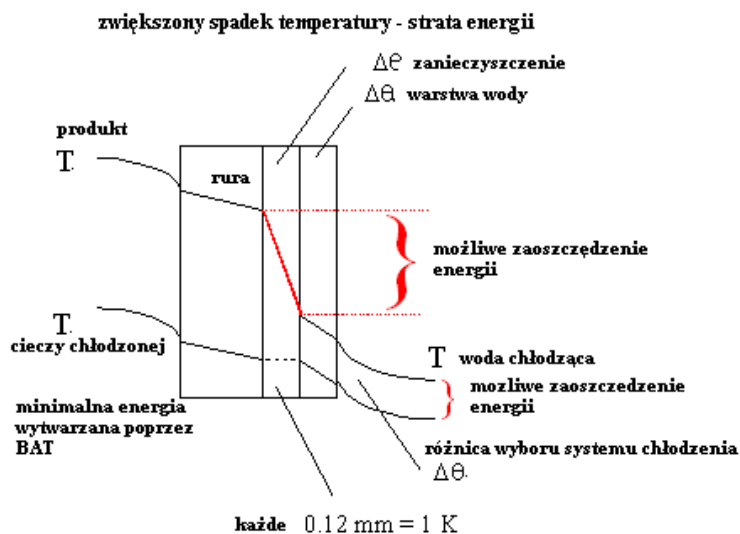
<sup>1</sup> Przy założeniu ceny 14,7 USD za baryłkę paliwa umownego o wartości opałowej 41,87 GJ/tonę i 7,45 baryłki/tonę paliwa umownego, odpowiadającego 5,51 baryłki na 1 kWh na rok, lub 81 EUR/kWh na rok (Ministerstwo Gospodarki, Holandia, tablica zamiany olej/gaz wg NOVEM).

<sup>2</sup>  $\text{PJ}_{\text{th}}$  = Petadżul cieplny =  $10^{15}$  dżuli

dotatkach o kilkadziesiąt procent. Wpływ na środowisko zmniejsza się proporcjonalnie do tych oszczędności.

- Oszczędności energii osiągnięte dzięki zastosowaniu inhibitorów znacznie przewyższają koszty związane z zakupem odpowiednich dodatków.

Rysunek II.1 stanowi ilustrację obu wpływów omówionych w niniejszym załączniku. Niższa temperatura chłodziwa, jak również działania przeciwosadowe korzystnie wpływają na wymianę ciepła między ścianką wymiennika i warstwą przyścienną (film wodny).



**Rysunek II.1 Ilustracja obszarów możliwych oszczędności energii poprzez zmniejszenie gradientu temperatur w warstwie osadów, jak i przez zastosowanie chłodniejszej wody na zasileniu**

### 7.3 Wstęp

W wyniku licznych nieformalnych kontaktów, międzynarodowe koncerny działające na terenie Europy założyły w 1991 roku grupę ds. przemysłowej wody chłodzącej. Inicjatywa ta miała na celu opracowanie standardowej metody testowania inhibitorów dla wody chłodzącej. Podstawy tej metody zostały stworzone w ramach badań przeprowadzonych w latach 80-tych XX w. przez DSM i Shell. „Przemysłowy projekt ds. wody chłodzącej” był formą porozumienia, w którym uczestniczyli użytkownicy i dostawcy inhibitorów.

Potencjalna oszczędność energii – w połączeniu z redukcją liczby błędów w procesach produkcyjnych uzyskaną przez zastosowanie bardziej czystych wymienników ciepła – była głównym powodem, który skłonił wszystkich uczestników do zainwestowania w projekt. W niniejszym załączniku zagadnienie to zostało szczegółowo omówione.

Wytwarzanie mocy mechanicznej i/lub elektryczności jest zawsze związane z chłodzeniem; jest ważne, aby uzyskać maksymalną energię z medium przy danej temperaturze otoczenia. Energia ta będzie zależała od liczby procesów jednostkowych i ostatecznie osiągnie wskaźniki dla

wodnego systemu chłodzenia. Roczne średnie<sup>(3)</sup> wartości standardowego bezpośredniego zużycia energii traconej w chłodzeniu, wyrażone stosunkiem  $kW_e/MW_{th, \text{ chłodzenia}}$  przy założeniu czyszczenia chłodni podczas letnich miesięcy, pokazano w tabeli poniżej.

**Tabela II.1: Zużycie energii w  $kW_e$ , zapotrzebowania en. elektrycznej/  $MW_{th, \text{ chłodzenia}}$  przy czystym wymienniku ciepła**

Wodny system chłodzenia	Zapotrzebowanie energii w $kW_e$ , zapotrzebowania en. elektrycznej/ $MW_{th, \text{ chłodzenia}}$ przy czystym wymienniku ciepła.		
	$\Sigma$	Pompy wody chłodzącej	Wentylator
Układ z przepływem jednorazowym wody chłodzącej	$\approx 10$ ; zakres 5 do 25	5 do 25	n/a
Cyrkulacja wody chłodzącej z otwartą, mokrą wieżą chłodniczą	$\approx 15$ ; zakres 10 do 25	5 do 20	5 do 10
Obieg zamknięty	$\approx 30$ ; zakres 20 do 60	5 do 15	10 do 50

Przy sprawności wytwarzania energii elektrycznej, wynoszącej 40%<sup>(4)</sup>, powyższe liczby należy pomnożyć przez 2,5, aby wyrazić zużycie energii w stosunku do pierwotnego nośnika energii. Względne zużycie energii potrzebnej do chłodzenia systemem wodnym staje się wówczas bezwymiarowe.

Ponadto, zużycie energii będzie rosło proporcjonalnie do (wyższych) temperatur wody chłodzącej i/lub (wzrastających) osadów w chłodniach podczas miesięcy letnich. Pośrednie obliczenia zużycia energii, w większości oparte o poprzednie tablice w tym dokumencie, są niezawodne. (Warunki klimatyczne dla państw europejskich podano w tabeli 1.6, a własności techniczne i termodynamiczne różnych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych, dla różnych stref klimatycznych podano w tabeli 2.1) Poniższa tabela pokazuje najniższe średnie temperatury wody zasilającej dla różnych systemów chłodzenia dla lipca i sierpnia w Holandii.

W praktyce do chłodzenia nie używa się wody wodociągowej ani gruntowej. Ponadto, wykorzystanie tego rodzaju wody do chłodzenia jest najmniej celowe i praktycznie stopniowo zaniechane. W konsekwencji można stwierdzić, że układy z przepływem jednorazowym, zlokalizowane w pobliżu brzegu rzeki, wymagają minimalnego zużycia energii pierwotnej.

<sup>3</sup> ASHRAE Handbook, 1983 Equipment volume; American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Inc., Atlanta, USA, 1983

<sup>4</sup> Centralne Biuro Statystyczne, CBS, Haga

**Tabela II.2: Najniższa osiągalna średnia temperatura zasilenia wody chłodzącej dla różnych systemów chłodzenia w lipcu i sierpniu w Holandii**

System chłodzenia	Średnia osiągalna min. temp. [°C]	Obserwacje; na przykładzie Holandii
Przepływ jednorazowy: rzeka	23	Lokalne ograniczenia limitujące zrzut ciepła
Woda morska przy wybrzeżu	19	Morze Północne 12°C poniżej strefy mieszania
Woda wodociągowa	15	Wysokie koszty
Woda gruntowa	12	Ograniczony dostęp
Otwarta mokra wieża chłodnicza	24	Temperatura termometru mokrego 19°C
Chłodzenie powietrzem (dla porównania)	40 (temp. wynikowa)	Temperatura termometru suchego 28°C

Ponadto zużycie energii będzie wzrastało, gdy w wymiennikach ciepła występują osady. Sedymentacja osadów może być sklasyfikowana jako mikro- i makroosady. Blokady wywołane przez skorupiaki i inne stałe osady dławią przepływ wody w rurach i zalicza się je do makroosadów<sup>(5)</sup>. Szlam mikrobiologiczny, jego nawarstwianie i złuszczenie mogą wywoływać korozję ścianki rury i są zaliczone do mikroosadów<sup>(6)</sup>. Wspólną cechą charakterystyczną oddziaływania osadów jest wzrost zużycia energii wewnętrznej.

W niniejszym załączniku przedstawiono szczegółowo dodatkowe zużycie energii na 1 K dodatkowego spadku temperatury, a także przedstawiono podstawy obliczeń bezpośrednich i pośrednich skutków energetycznych, związanych z wyborem każdego z sześciu systemów chłodzenia.

## 7.4 Obliczenia

### 7.4.1 Podstawy

Przemysłowa instalacja chłodnicza  $\Delta\theta_{\log} = 10 \text{ K}$  (= siła napędowa)  
 $\Phi_t = 5 \text{ kW}_{\text{th}}\text{m}^{-2}$  (= strumień ciepła)  
 zatem  $U_{\text{całkowite}} = 0,5 \text{ kW}_{\text{th}}\text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  (= współczynnik przenikania ciepła)

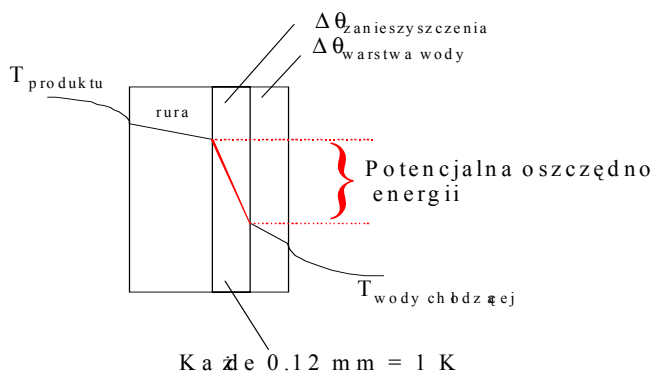
Przyjęte założenia:  $\delta_{\text{osadu}} = 0,12 \text{ mm}$  (= zmienny opór)  
 $\lambda_{\text{osadu}} = 0,6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  (współczynnik przewodzenia ciepła)<sup>7</sup>

Wymiana ciepła jest przedstawiona jako szereg oporów cieplnych na drodze między produktem chłodzonym, ścianką rury, laminarną warstwą wody i zmiennymi, narastającymi osadami:

$$\frac{1}{U_{\text{całkowite}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{produktu}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ściana rury}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{warstwa wody}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{osady}}}$$

<sup>7</sup> VDI-Warmeatlas. Berechnungsblätter für den Wärmebergang, sechste erweiterte Auflage, VDI-Verlag, Dusseldorf.

## Zanieczyszczenia = Dodatkowy spadek temperatury



Rysunek II.2: Graficzne przedstawienie zanieczyszczeń wywołujących dodatkowy spadek temperatury na ścianie rury

Względne współczynniki wymiany ciepła ::

$$I = \frac{U_{\text{całkowity}}}{\alpha_{\text{produktu}}} + \frac{U_{\text{całkowity}}}{\alpha_{\text{ściana\_rury}}} + \frac{U_{\text{całkowity}}}{\alpha_{\text{warstwa wody}}} + \frac{U_{\text{całkowity}}}{\alpha_{\text{zanieczyszczenia}}}$$

Względne gradienty temperatury :

$$I = \frac{\Delta\theta_{\text{produktu}}}{\Delta\theta_{\text{log}}} + \frac{\Delta\theta_{\text{ściana rury}}}{\Delta\theta_{\text{log}}} + \frac{\Delta\theta_{\text{warstwa wody}}}{\Delta\theta_{\text{log}}} + \frac{\Delta\theta_{\text{osady}}}{\Delta\theta_{\text{log}}}$$

Razem :

$$\Delta\theta_{\text{osady}} = \frac{U_{\text{całkowity}}}{\alpha_{\text{osady}}} * \Delta\theta_{\text{log}} = \frac{U_{\text{całkowity}}}{\left[ \frac{\lambda_{\text{osady}}}{\delta_{\text{osady}}} \right]} * \Delta\theta_{\text{log}} = \frac{0.5 \text{ kW}_t \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}}{\left[ \frac{0.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}}{0.12 \text{ mm}} \right]} * 10 \text{ K} = 1 \text{ K}$$

Zatem

$$\Delta\theta_{\text{osadów}} = 1 \text{ K}$$

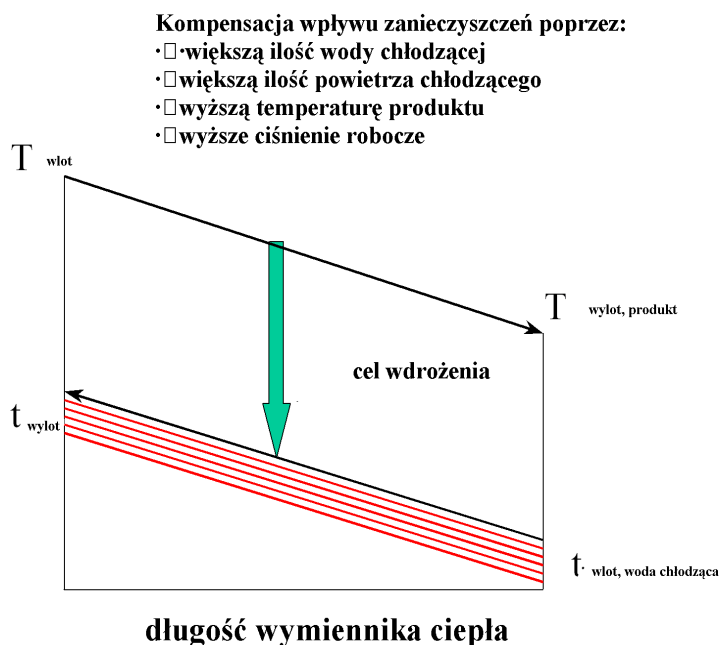
Można przyjąć, że osady w wodzie chłodzącej w przemysłowych instalacjach nie mają wpływu na zużycie energii w ciągu ośmiu zimniejszych miesięcy w roku. Jest to związane z koniecznością niezawodnego zabezpieczenia przepływów procesowych przed schłodzeniem do zbyt niskiej temperatury. W fabryce powinna zawsze istnieć przynajmniej jedna działająca pompa wody chłodzącej; wentylator, który został zatrzymany, nie jest zdolny do dalszej redukcji wydajności chłodniczej. Oszczędności mogą być osiągnięte podczas dłuższych przerw w

dostawie energii elektrycznej. Jednakże przemysłowe instalacje chłodnicze są zwykle przeznaczone do chłodzenia różnych produktów i w związku z tym ich wymienniki ciepła są wykonane z różnych materiałów. W rezultacie ta różnorodność materiałowa wywołuje potrzebę odpowiedniego doboru i stosowania inhibitorów przystosowanych do kompleksowych układów chłodzenia. Maksymalne korzyści wynikające z zaoszczędzenia energii uzyskuje się zaledwie w ciągu czterech miesięcy w roku. Zatem obliczenia w niniejszym załączniku są ograniczone do tego krótkiego okresu i dotyczą tylko wydajności chłodniczych wodnych systemów używanych w instalacjach przemysłowych. Powodem tych ograniczeń jest fakt, że trudno jest określić i zinterpretować wpływ dodatków do wody chłodzącej w elektrowni i włączyć je do obliczeń oszczędności energii.

W praktyce stosowane jest jedno lub kilka „rozwiązań” w celu zaradzenia sytuacjom, w których projektowanie systemu chłodzenia w kombinacji z inhibitorami nie jest w stanie zapewnić wymaganej wydajności chłodniczej podczas miesięcy letnich. (Rozwiązania te uwzględniają wzrastającą ilość wody chłodzącej i/lub chłodzącego powietrza i/lub temperatury produktu i/lub ciśnienia roboczego). Wszystkie rozwiązania mają udział we wspólnej charakterystyce wzrostu zużycia energii wewnętrznej.

#### Kompensacja wpływu zanieczyszczeń poprzez:

- większą ilość wody chłodzącej
- większą ilość powietrza chłodzącego
- wyższą temperaturę produktu
- wyższe ciśnienie robocze



Rysunek II.3 Schematyczna prezentacja celu wdrożenia w zależności od długości wymiennika ciepła



W poniższych obliczeniach dodatkowe zużycie energii wynika z obecności mikroosadów, które powodują dodatkowy przyrost temperatury w warstwie, równy 1K. Wzory na poprzedniej stronie pokazują fakt, że dodatkowy przyrost temperatury 1K staje się oczywisty, od razu gdy warstwa mikroosadów osiąga grubość powyżej 0,12 mm. Ma to również znaczenie dla warstw kamienia kotłowego o grubościach tego samego rzędu. W obliczeniach przyjęto, że przepływ ciepła spada liniowo z grubością osadów. Zmniejszenie wydajności wymiennika ciepła, spowodowane pierwszymi 20% blokady rur spowodowane mikroosadami, może być skompensowane przez wzrost wymaganego gradientu temperatury o 1°C. Jednakże każda dodatkowa blokada rur chłodniczych w rezultacie powoduje wzrost gradientu temperatury w funkcji wykładniczej i

Wieża chłodnicza o mocy 10 MW<sub>th</sub>

$$\Phi = 1000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cyrkulacyjny strumień objętościowy}$$

$$\Delta\theta = 8,6 \text{ K woda chłodząca wlot/wylot}$$

$$\Delta\theta_{\log} = 5,0 \text{ K ograniczenie chłodzenia w wieży chłodniczej}$$

#### 7.4.2 Ilość wody chłodzącej ↑

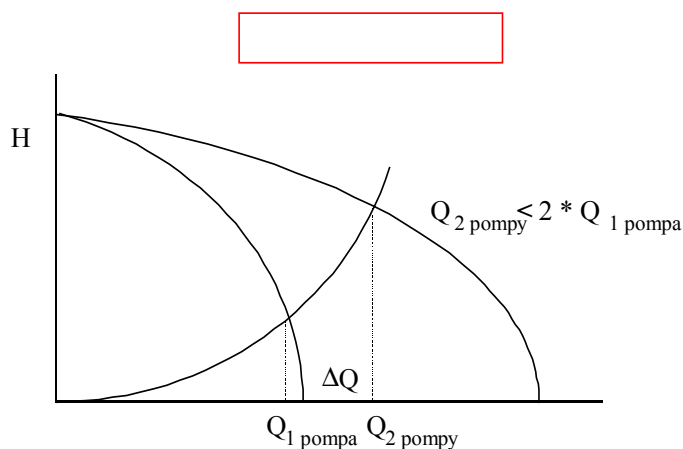
Następny przykład obliczeniowy, w którym 1 K dodatkowego spadku temperatury w warstwie mikroosadu, jest w praktyce równoważony przez zwiększoną liczbę pomp wody chłodzącej. Temperatura i przepływ produktu i ilość ciepła usuwanego z produktu pozostają stałe. Średni spadek ciśnienia jest dostosowany do 3,7 bar.

Wydajność może być podwojona przez połączenie równoległe dwóch identycznych pomp odśrodkowych, tylko przy jednakowych ciśnieniach statycznych. Jednakże każde kolejne włączenie pompy wody chłodzącej wpływa na cały układ chłodzący i na zmianę charakterystyki. Konsekwencją tych zmian jest niemożność zsumowania nominalnych wydajności pomp. W rezultacie redukcja wydajności wymaga wzrostu zapotrzebowania mocy<sup>8</sup>.

Odebranie tej samej ilości ciepła wymaga zwiększenia o 10% cyrkulacji wody chłodzącej (tzn. 20% dodatkowej energii dla pomp), aby skompensować dodatkowy spadek temperatury, równy 1 K.

<sup>8</sup> Pompen (Pompy), L.W.P. Bianchi, Stam, Culemborg.

**Więcej wody chłodzącej >> wzrost mocy pompowania**  
 1 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub> na K



**Rysunek II.4 Liczba pomp wody chłodzącej i zmiana wysokości podnoszenia wody chłodzącej w wyniku osadów**

$$\begin{aligned}
 W \text{ jest } \frac{\Delta\varphi * P}{\eta} &= \frac{20\% * \Phi * [\rho * g * \Delta H]}{\eta} \\
 &= \left( \frac{20\% * \frac{1000 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s/h}} * \left[ 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 37 \text{ m slupa wody} \right]}{0.7} \right) \\
 &= \frac{20 * 10^3}{0.7} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} * \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \\
 &= 30 * 10^3 \left[ \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right] = 30 \text{ kW}_e \text{ na } 10 \text{ MW}_{th} \text{ chłodzenia.}
 \end{aligned}$$

Korekta dla 4 miesięcy letnich rocznie:

**rocznie 1 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub> na 1 K**

### 7.4.3 Ilość powietrza chłodzącego ↑

Zastosowanie wieży chłodniczej o takiej samej mocy 10 MW<sub>th</sub> i odebranie tej samej ilości ciepła dokonuje się teraz przez kompensację 1 K dodatkowego spadku temperatury w warstwie mikroosadów poprzez zwiększenie ilości powietrza chłodzącego, wprawianego w ruch przez

wentylatory chłodni. Zużycie energii poprzez wentylatory wzrasta z 54 kW<sub>e</sub> do 83 kW<sub>e</sub> na 10 MW<sub>th</sub><sup>9</sup>:

Korekta dla 4 miesięcy letnich rocznie:

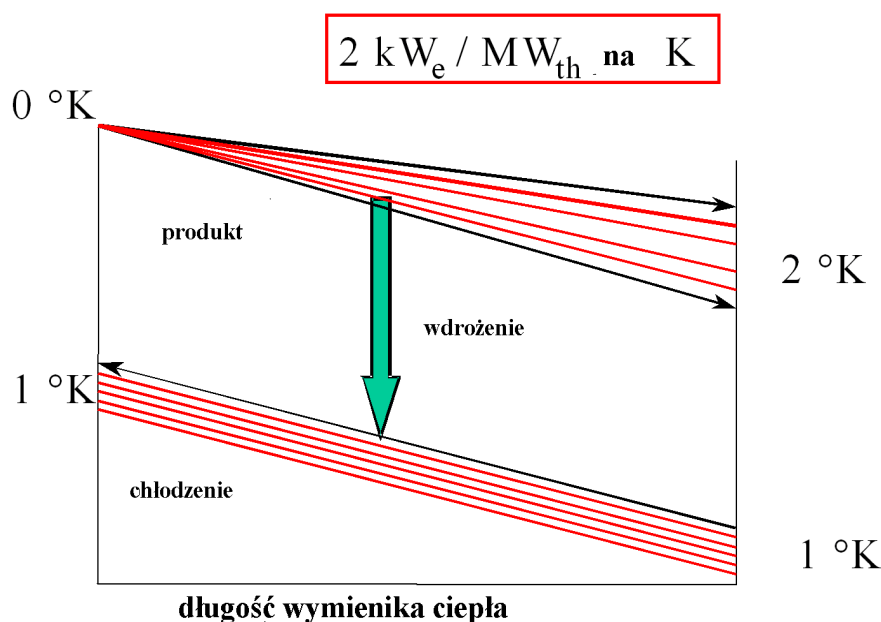
**rocznie 1 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub> na 1 K**

**Wniosek: zwiększenie strumieni powietrza chłodzącego lub wody chłodzącej wymaga rocznie tej samej energii dodatkowej.**

#### 7.4.4 Temperatura produktu ↑; objętość gazu ↑

**Większy strumień objętościowy gazu; PV =  
zanieczyszczony wymiennik ciepła >> więcej ciepła**

**Większy strumień objętościowy gazu; PV =  
zanieczyszczony wymiennik ciepła >> więcej ciepła**



**Rysunek II.5 Zmiana przyrostu temperatury produktu gazowego w przeciwprądowym wymienniku ciepła w wyniku osadów**

Temperatura produktu na wlocie jest przyjęta jako stała. W takim razie spadek temperatury produktu na wylocie spowodowany jest narastaniem osadów w wymienniku ciepła i będzie tym

<sup>9</sup> Obliczenia POLACEL i praktyczne doświadczenia z różnymi kombinacjami połączeń wentylatorów z ich zatrzymywaniem/ uruchamianiem jednego lub wielu z nich.

mniejszy, im bardziej czysty jest wymiennik ciepła. Spadek temperatury w warstwie osadów jest stały na całej długości wymiennika. W rezultacie tych dwóch efektów, zmniejszenie spadku temperatury produktu na wylocie z wymiennika ciepła zanieczyszczonego jest dwukrotnie większe niż spadek temperatury w warstwie osadu po stronie wodnej wymiennika. Czysty, przeciwrządowy wymiennik ciepła, w którym zapotrzebowanie energii na 1 K zmiany temperatury wody chłodzącej (równy ilościowo ciepłu właściwemu wody) jest większe, niż dla produktu chłodzonego, wykazuje zbieżne rozkłady temperatury po wylotowej stronie wymiennika ciepła. Redukcja spadku temperatury produktu na wylocie, spowodowana przez mikroosady po stronie wody chłodzącej, będzie w konsekwencji mniejsza niż 2 K na 1 K spadku temperatury w warstwie osadów. Odwrotnie, energia wynikająca z 1 K spadku temperatury wody chłodzącej mniejsza niż wynikająca z 1 K spadku temperatury produktu spowoduje różnice w rozkładach temperatury na wylocie z wymiennika. Redukcja spadku temperatury po stronie wypływu produktu jest spowodowana tymi samymi mikroosadami po stronie wody chłodzącej i będzie przewyższać 2 K na 1 K spadku temperatury w warstwie osadów po stronie wodnej.

W warunkach adiabatycznego sprężania, przy stałym strumieniu masowym produktu i stałym stopniu sprężania, odebranie tej samej ilości ciepła dokonuje się w wyniku kompensacji dodatkowego 1 K spadku temperatury w warstwie mikroosadów przez wzrost końcowej temperatury chłodzonego produktu o 2°C. Opis tej samej wieży chłodniczej o mocy 10 MW<sub>th</sub> jest następujący:

$$W = \int_{P_{wlot}}^{P_{wylot}} V * dP = \varphi_v * R * T_{wlot} * \frac{\kappa}{\kappa-1} * \left[ \left( \frac{P_{wlot}}{P_{wylot}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa} * \eta_{pol}} - 1 \right]$$

= praca sprężania jest funkcją liniową temperatury gazu wlotowego.

= na 2 °C temperatura produktu wzrasta  $\rightarrow \frac{T_{in+2^{\circ}C}}{T_{in}}$  dodatkowe zapotrzebowanie mocy sprężarki

$$= \left( \frac{273 + 27}{273 + 25} \right) - 1 = 0.67 \text{ więcej procent pracy sprężania na } 2^{\circ}C$$

Korekta dla 4 miesięcy letnich rocznie:

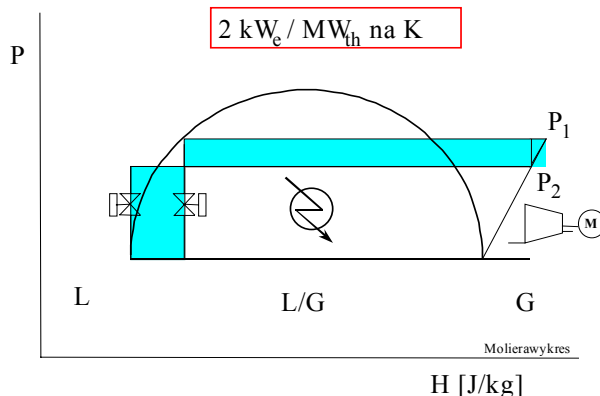
**rocznie 2 kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub> na 1 K**

**Wniosek: przemieszczenie objętościowe jest bardziej kosztowne od transportu masy**

#### 7.4.5 Ciśnienie produktu ↑; sprężarka chłodnicza ↑

Dla tej samej wieży chłodniczej o mocy 10 MW<sub>th</sub>, tego samego strumienia masowego, odebranie tej samej ilości ciepła dokonuje się tu przez skraplanie substancji (na przykład, skorzystanie z urządzenia chłodniczego, opartego na adiabatycznym sprężaniu i rozprężaniu). Ma tu miejsce wzrost ciśnienia roboczego produktu chłodzonego dla skompensowania dodatkowego spadku temperatury (1 K) w warstwie osadu:

## Wzrost temperatury punktu rosy = wzrost ciśnienia roboczego



**Rysunek II.6 Wzrost ciśnienia roboczego dla kompensacji wzrostu temperatury, spowodowanego osadami**

Założenia:	urządzenie chłodnicze z propanem, jako czynnikiem chłodniczym	
	ciśnienie wlot/wylot	odpowiednio 1.9 i 13 bar
	temperatura wrzenia	odpowiednio $-33.6$ i $28.5^{\circ}\text{C}$
	przyrost ciśnienia w stosunku do przyrostu temperatury	$0.33 \text{ bar K}^{-1}$
	sprawność sprężarki i turbiny	0.66

$$\text{Współczynnik wydajności chłodniczej cyklu Carnota} = \left[ \frac{\theta_{\text{wlot}}}{\theta_{\text{wlot}} - \theta_{\text{wylot}}} \right]_{\text{wlot}} = \left[ \frac{273.15 - 33.64}{28.50 - (-33.64)} \right]_{\text{w } 28.5^{\circ}\text{C}} = 3.852$$

$$\text{Stosunek różnicy chłodzenia} = \frac{\left[ \frac{\theta_{\text{wlot}}}{\theta_{\text{wlot}} - \theta_{\text{wylot}}} \right]_{\text{wlot}}}{\left[ \frac{\theta_{\text{wlot}}}{\theta_{\text{wlot}} - \theta_{\text{wylot}}} \right]_{\text{wlot} + 1^{\circ}\text{C}}} = \frac{\left[ \frac{273.15 - 33.64}{28.50 - (-33.64)} \right]_{\text{w } 28.5^{\circ}\text{C}}}{\left[ \frac{273.15 - 33.64}{29.50 - (-33.64)} \right]_{\text{w } 29.5^{\circ}\text{C}}} = \frac{63.14}{62.14} = 1.0151$$

$$\text{Dodatkowa moc dostarczona do sprężarki} = \frac{1 - 1.0151}{3.852 * 0.66} = 0.594 \text{ procent na K}$$

Korekta dla 4 letnich miesięcy na rok:

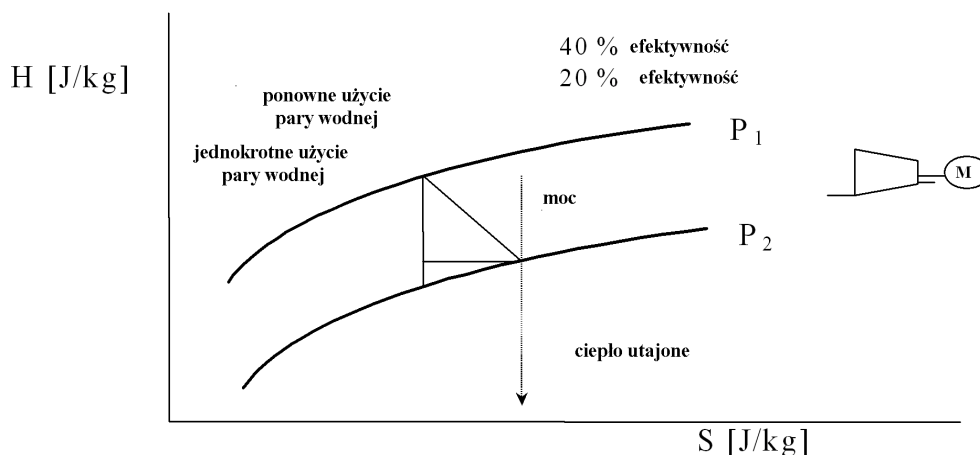
**rocznie  $2 \text{ kW}_e/\text{MW}_{\text{th}}$  na K**

**Wniosek: Chłodzenie jest dwukrotnie droższe od ogrzewania**

## 7.5 Całkowity potencjał oszczędności energii na 1 K spadku temperatury wody chłodzącej w warstwie osadów

### 7.5.1 Sprawność wytwarzania energii ↑

W Holandii sprawność wytwarzania energii elektrycznej wynosi 40%<sup>10</sup>.



Rysunek II.7 Sprawność wytwarzania mocy dla pomp, wentylatorów i sprężarek

Wytwarzanie i zużycie pary w petrochemii jest zwykle bilansowane jesienią i wiosną. W zimie para wysokoprężna i średnioprężna jest kierowana do sieci pary niskoprężnej. Odwrotnie, latem para niskoprężna upuszczana jest do atmosfery i/lub skraplana w chłodniach. Ponadto, pewna ilość pomp parowych będzie wyłączona, a silniki elektryczne będą włączone, tak żeby to skompensować w bilansie energetycznym.

Turbiny parowe są zawsze używane jako jednostki pomocnicze do zasilania urządzeń chłodniczych. W tych sytuacjach para niskoprężna produkowana podczas lata (dodatkowa ilość jest wytwarzana w rezultacie obecności osadów w skraplaczu) może być przeznaczona do sprzedaży. Dodatkowa energia zużywana przez urządzenia chłodnicze, będzie związana z dodatkowymi stratami energii, które mogą być 5-krotnie większe. Entalpia przegranej pary wysoko-, średnio- i niskoprężnej jest tylko 1,5 x większa, niż ciepło utajone wody.

Holenderski przemysł zużywa 20% całkowitej mocy chłodniczej na sprężarki gazowe i parowe<sup>11</sup>. Połowa tej mocy chłodniczej jest odprowadzana przez (pomocnicze) turbiny parowe. Chłodzenie przy pomocy urządzeń chłodniczych („kalorie ujemne”) jest bardziej kosztowne od ogrzewania, a transport objętościowy jest droższy od transportu masowego. W praktyce podczas lata

<sup>10</sup> Centralne Biuro Statystyczne, CBS, Haga.

<sup>11</sup> EST Consult B.V., Woubrugge, December '90, NESR003. Marktonderzoek naar het elektriciteitsverbruik en de mogelijkheden van electriciteitsbesparing in de Nederlandse industrie (Badania rynkowe zużycia energii w przemyśle holenderskim i możliwości zaoszczędzenia energii).



korzystniejsze jest wcześniejsze włączenie są i późniejsze wyłączenie pomp wody chłodzącej i wentylatorów, niż podnoszenie ciśnienia roboczego. W dodatku, na początku 80% strat wydajności w wyniku nieefektywnego chłodzenia spowodowanego osadami będzie kompensowane przez włączenie/wyłączenie silników.

Wskutek tego średni przyrost energii pierwotnej na 1 K spadku temperatury wynosi:

$$\left(\frac{80\% * 1}{0.4}\right) + \left(\frac{10\% * 2}{0.4}\right) + \left(\frac{10\% * 2}{0.2}\right) = \underline{\underline{3.5 \text{ kW}_{th} / \text{MW}_{th} \text{ na K}}}$$

Uwaga: Ten wskaźnik energetyczny może być liczony dla innych państw europejskich, jeżeli znane są wydajności chłodnicze sprężarek gazowych i parowych. Spodziewany rezultat będzie w zakresie pomiędzy 3 i 4 kW<sub>th</sub>/MW<sub>th</sub> na 1 K, przy sprawności wytwarzania energii w Europie, równej około 40%.

### 7.5.2 Całkowite zużycie wody do chłodzenia w przemyśle holenderskim (z wyłączeniem energetyki)

Obserwacja zużycia wody chłodzącej jest niezbędna dla obliczenia całkowitego zużycia energii bezpośredniej i pośredniej, jak również do określenia bezwzględnego wpływu każdego z sześciu głównych systemów chłodzenia na środowisko naturalne w Europie. W Holandii dostępne są dane statystyczne z ostatnich dekad. Większość zużytej wody w gospodarce narodowej (=3,1\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> rocznie) jest przeznaczona na chłodzenie. Całkowita ilość wody używanej w chłodzeniu ma wynosić w zamyśle 2,7\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> rocznie (dla energetyki 8,3\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> rocznie). W tej wodzie przeważają wody powierzchniowe słodkie, słone i zasolone. Źródła statystyczne rozgraniczają wodę używaną do celów technologicznych i wodę do chłodzenia. Jednakże dane nie rozróżniają wody chłodzącej użytej w układach z recyrkulacją i w systemach przepływem jednorazowym. Obliczenia wskazują, że ilość ciepła odbieranego przez wodę w przemyśle holenderskim wynosi 180 PJ<sub>th</sub> rocznie<sup>12</sup> (=5,7 GW<sub>th</sub><sup>13</sup>) i jest podzielona po równo pomiędzy wieżami chłodniczymi i urządzeniami wykorzystującymi przepływ jednorazowy.

### 7.5.3 Całkowity potencjał oszczędności energii na 1K chłodzenia wody chłodzącej, warunki brzegowe

Energia 180 PJ<sub>th</sub> na rok, usuwana przez systemy wody chłodzącej, w połączeniu z dodatkowym średnim zużyciem energii, wymaga mocy jednostkowej 3,5 kW<sub>th</sub>/MW<sub>th</sub> na 1 K. Potencjał oszczędności energii w przemyśle holenderskim wynosi:

**0,63 PJ<sub>th</sub> na 1 K rocznie**

<sup>12</sup> CBS, Heerlen: key figure K-261/1991; zaopatrzenie w wodę dla przemysłu 1991, i co pięć lat w okresie od 1957. CBS, Voorburg; key figure K-117/1992-1 & -2; Zużycie energii w Holandii, zestawienia roczne 1992 i z dekad od 1972.

<sup>13</sup> Zawsze weryfikowane dane z:

- Emissie Registratie warmte via water E 260 tot en met de 6e ronde (rejestracja emisji ciepła przez wodę E260, włączając rundę szóstą (przez najważniejsze firmy z punktu widzenia środowiska) w 1990); RIVM, Bilthoven.

- Obserwacje autora, dziesięć największych firm w Holandii; dane RIZA; Lelystad, Netherlands.

lub w kosztach:

**1,6 miliona EUR na 1 K rocznie**

Zakładając, że przemysł holenderski reprezentuje tylko 5% europejskiej wydajności produkcyjnej, gdzie wchodzi w grę chłodzenie, można ocenić, że wydajność chłodzenia w całym przemyśle europejskim jest rzędu  $120 \text{ GW}_{\text{th}}$ , a chłodzenie w przemyśle energetycznym  $200 \text{ GW}_{\text{th}}$ . Dla sektora chłodzenia w Europie potencjał oszczędności energii byłby równy:

**35  $\text{PJ}_{\text{th}}$  na 1 K rocznie**

lub w kosztach:

**100 milionów EUR na 1 K rocznie**

## 7.6 Przykłady obliczeniowe względnego zaoszczędzenia energii i redukcji wpływu na środowisko przez zastosowanie inhibitorów

### 7.6.1 Udział utleniania

Poniżej przedstawiono przykład zastosowania inhibitorów opartych na utleniaczach, takich jak podchloryn sodowy (ponieważ jest to względnie dobrze znany dodatek degradable):

#### Założenia:

#### Podstawa:

elektrolit (lub inna masa)  $2.2 \text{ kWh}_e / \text{kg}$  równoważnika chloru

- sprawność produkcji	0,7	$W_e / W_e$
- sprawność cieplna	0,4	$W_e / W_{\text{th}}$
- stężenie	15	%

instalacja chłodnicza

- grubość warstwy osadu	0,5	mm (brak inhibitora w lecie)
- spadek temperatury		
w warstwie granicznej	4	K
- średni „stosunek oszczędności”	3,5	$\text{kW}_{\text{th}} / \text{MW}_{\text{th}} / \text{K}$

zastosowanie inhibitora

- wpływający	$= 1,0 \text{ mg l}^{-1}$ , stechiometryczne utlenianie
- wypływający	$\leq 0,1 \text{ mg l}^{-1}$ , aktywnego chloru
- okresowe chlorowanie, tzn. 4 godziny używania/ nie używanie	
- 1% konwersja dozowanego równoważnika chloru do chlorowania produktów, wyrażona jako równoważnik chloru, odpowiadający około 3% z węglowodorów bromowych [tm160, Bijstra, 1999].	

#### 7.6.1.1 Układ z przepływem jednorazowym

zużycie podchlorynu  $300 \text{ kg Cl} / \text{MW}_{\text{th}}$  [tm160, Bijstra, 1999]<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dane o chlorze na podstawie danych z Europy północno-zachodniej.

koszty podchlorynu 114 EUR/ tonę metryczną w zbiorniku ciężarówce

W konsekwencji obydwaj współczynniki, tj. współczynnik oszczędności energii<sup>2</sup> i stosunek wydajności do ceny inhibitora są najważniejsze. Zastosowanie utleniaczy pozwala na zaoszczędzenie energii z otoczenia, rzędu kilkudziesięciu procent i stanowi nadwyżkę energii pierwotnej zawartej w inhibitorze.

Energia z otoczenia, dostarczona z tym inhibitorem jest ponad dziesięciokrotnie większa, niż oszczędności finansowe<sup>3</sup>.

Zastosowanie nadtlenu wodoru lub ozonu powoduje zmniejszenie wyżej wspomnianych współczynników.

Współczynnik oszczędności energii =

$$\left( \frac{8760 \text{ h/rok}}{300 \text{ kg "jako chlor" na rok} / MW_{th}} \right) * \left( \frac{3.5 kW_{th} / MW_{th} \cdot K * 4K}{\left( \frac{2.2 kWh_e / kg \text{ chloru}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right) = 52 \frac{J_{wylot}}{J_{wlot}}$$

Współczynnik oszczędności finansowych =

$$\left( \frac{14 kW_{th} / MW_{th}}{2 \text{ mt podchlorynu} / \text{rok na } MW_{th} \text{ chłodzenia}} \right) * \left( \frac{\text{EURO } 81 / kW_{th} \text{ na rok}}{\text{EURO } 114 / \text{mt}} \right) = 5 \frac{\text{EURO}_{wylot}}{\text{EURO}_{wlot}}$$

Uwaga: mt = tona(-y) metryczna(-e)

Bezwymiarowy współczynnik energii z otoczenia może być uzupełniony przez obliczenie dodatkowego względnego środowiskowego udziału masowego. Wykazuje on zawsze oszczędności energii osiągnięte w wyniku stosowania inhibitorów, ale teraz wyrażone w postaci stosunku redukcji emisji dwutlenku węgla do wytwarzanych niepożądanych produktów reakcji utleniania.

Środowiskowy udział masowy =

$$52 \frac{J_{wyjśjś}}{J_{wejśjś}} * \frac{\left( \frac{1.94 \text{ kg } CO_2 / Nm^3 \text{ naturany gaz}}{31.6 \text{ MJ}_{th} / Nm^3 \text{ naturany gaz}} \right)}{\left( \frac{3\% \text{ zamiana po chlorowaniu}}{\left( \frac{2.2 kWh_e / kg \text{ chloru} * 3.6 \text{ MJ}_{th} / kWh_{th}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right)} = 3000 \frac{CO_2}{C - X}$$

<sup>2</sup> Współczynnik oszczędności energii jest wielkością bezwymiarową, porównującą oszczędności energii osiągnięte przy zastosowaniu inhibitora do energii pierwotnej zawartej w dodatku

<sup>3</sup> Współczynnik oszczędności finansowych jest wielkością bezwymiarową, porównującą oszczędności finansowe osiągnięte przy zastosowaniu inhibitora do kosztu związanego z dodatkiem.

Jednakże wielkość otrzymana z tego wzoru nie jest w całości bezwymiarowa. Udział masowy z otoczenia może być wprowadzony do określenia całkowitego współczynnika efektu środowiskowego, na przykład w postaci współczynnika efektu chlorowania w wodzie morskiej takich produktów jak bromoform (84%), dwubromoacetoazot (10%) i trójchlorometan, a także dwubromochlorometany i bromodwuchlorometany (5%) [tm 157, Jenner et al., 1998].

Ich niepożądana budowa, która jest liniową wielkością w systemie chlorowania, może być porównana z wynikającą stąd redukcją zużytej energii, gdy obydwie wielkości są wyrażone w jednostkach CO<sub>2</sub> i są związane z współczynnikiem ODP (potencjału tworzenia efektu dziury ozonowej).

### 7.6.1.2 Otwarty system z recyrkulacją

Ilość wody; basen+rury	50 m <sup>3</sup> / MW <sub>th</sub>
Dozowanie (3 mg/m <sup>3</sup> )	1 h <sup>-1</sup>
Czas dozowania, <u>nieciągły</u>	1,0 h / dzień
Koszt podchlorynu	160 EUR/ tonę w pojemnikach o objętości 1m <sup>3</sup>

Dla reżimu ciągłego dozowania i/lub mniej właściwego procesu dozowania kontrolowanego, konieczne jest dozowanie, wymagające około 3 razy więcej równoważnika chloru na 1 MW<sub>th</sub>.

*Energy conservation ratio =*

$$\left( \frac{1 \text{ MW}_{th} \cdot h * 24 \text{ h/dzień}}{1 \text{ l podchlorynu/dzień}} \right) * \left( \frac{3.5 \text{ kW}_{th} / \text{MW}_{th} \cdot K * 4K}{\left( \frac{15\% * 2.2 \text{ kWh}_e / \text{kg chloru}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right) = 285 \frac{J_{\text{wyjśjys}}}{J_{\text{wejśejjs}}}$$

*Financial conservation ratio =*

$$\left( \frac{14 \text{ kW}_{th} / \text{MW}_{th}}{365 \text{ l podchlorynu/rok na MW}_{th} \text{ chłodzenia}} \right) * \left( \frac{\text{EURO } 81 / \text{kW}_{th} \text{ na rok}}{\text{EURO } 160 / \text{metryczna tona}} \right) = 20 \frac{\text{EURO}_{\text{wyjśjys}}}{\text{EURO}_{\text{wejśejjs}}}$$

Współczynnik oszczędności energii i stosunek wydajności do ceny dla tych samych utleniaczy używanych w systemie z recyrkulacją są większe, niż w przypadku systemu chłodzącego. Odwrotnie, zużycie energii pierwotnej wymagane do chłodzenia systemu z recyrkulacją jest większe niż dla systemu chłodzenia z przepływem jednorazowym. W konsekwencji, większość największych elektrowni jest zlokalizowana w pobliżu brzegów rzek.

Względny współczynnik udziału masowego z otoczenia może być obliczony dla tego systemu.

Environmental mass ratio =

$$285 \frac{J_{\text{wyjśjys}}}{J_{\text{wejsjs}} * \left( \frac{1.94 \text{ kg CO}_2 / \text{Nm}^3 \text{ natura ln y gaz}}{31.6 \text{ MJ}_{\text{th}} / \text{Nm}^3 \text{ natura ln y gaz}} \right)} = 16000 \frac{\text{CO}_2}{\text{C} - \text{X}}$$

$$\left( \frac{3\% \text{ zamiana przez chlorowanie w\u0119glowodor\u00f3w}}{\left( \frac{2.2 \text{ kWh}_e / \text{kg chloru} * 3.6 \text{ MJ}_{\text{th}} / \text{kWh}_{\text{th}}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{\text{th}}} \right)} \right)$$

Stosunek masowy wymaganej redukcji emisji dwutlenku w\u0119gla do niepo\u017cadanej emisji w\u0119glowodur\u00f3w chlorowcopochodnych z tych samych utleniaczy – ale tu zastosowany w systemie ch\u0142odzenia z recyrkulacj\u0105 – jest wi\u0119kszy ni\u017c dla systemu ch\u0142odzenia z przeplywem jednorazowym. Odwrotnie, pob\u00f3r energii pierwotnej przez system wie\u017c ch\u0142odniczych jest wi\u0119kszy, ni\u017c przez system ch\u0142odzenia z przeplywem jednorazowym.

## 7.7 Przyk\u0142adowe obliczenia wzgl\u0119dnych oszcz\u0119dno\u015bci energii w ch\u0142odniach wodnych

### 7.7.1 Woda przybrze\u017ana a wie\u017c ch\u0142odnicze

Za\u0142o\u017cenia <sup>4</sup> :	temperatura doplywaj\u0105cej wody przybrze\u017anej	19 °C
	temperatura wody doplywaj\u0105cej do wie\u017cy ch\u0142odniczej	24 °C
	ci\u015bnienie na wyplywie z:	uk\u0142adu ch\u0142odzenia
		z przeplywem jednorazowym 1 m s\u0142upa wody
		z wie\u017cy ch\u0142odniczej 14 m s\u0142upa wody
		(wysoko\u015b\u0107 wie\u017cy + dyszy)

Wzrost wysoko\u015bci pompowania wody ch\u0142odz\u0105cej i jej rozpryskiwanie przez dysze wymaga dodatkowej mocy pompowania na 1 MW<sub>th</sub> ciep\u0142a usuwanego przez system wie\u017cy ch\u0142odniczej:

$$W = \frac{\Delta\varphi * P}{\eta} = \frac{\varphi * [\rho * g * \Delta H]}{\eta}$$

$$= \frac{100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \left[ 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 13 \text{ mwg} \right]}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} * 0.7}$$

$$= \frac{3.6 * 10^3}{0.7} * \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right] = 5 * 10^3 \left[ \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right] = 5 \text{ kW}_e \text{ na MW}_{\text{th}} \text{ ch\u0142odzenia}$$

Zu\u017cy\u0107cie mocy przez pompy wyra\u017cone w postaci energii pierwotnej wymaga

<sup>4</sup> Onderzoek industrieel waterverbruik (Badania zapotrzebowania przemys\u0142u w wod\u0119), raport ko\u0144cowy, F.C.A. Carner, Krachtwerktuigen Amersfoort, 1992.

Samenwerkende Rijn- en Maas waterleidingbedrijven 1980 – 1992, RIWA, Amsterdam.

Jaarboeken monitoring Rijkswateren (Rocznik Monitoringu Wody) z 1980.

rocznie <b>chłodzenia</b>	<b>12,5</b>	<b>kW<sub>th</sub></b>	<b>na</b>	<b>MW<sub>th</sub></b>
Woda chłodząca jest ogrzana średnio o 5 K, więc <b>chłodzenia</b>	<b>17,5</b>	<b>kW<sub>th</sub></b>	<b>na</b>	<b>MW<sub>th</sub></b>
Razem, różnica w zużyciu energii wynosi <b>chłodzenia</b>	<b>30,0</b>	<b>kW<sub>th</sub></b>	<b>na</b>	<b>MW<sub>th</sub></b>

W konsekwencji, dla oszczędności energii korzystne są duże systemy chłodnicze, w praktyce na wybrzeżu preferowane są systemy chłodzące z przepływem jednorazowym.

### 7.7.2 Woda rzeczna a wieża chłodnicze

Różnica temperatury w systemie chłodniczym z przepływem jednorazowym wody rzecznej, w porównaniu z wieżą chłodniczą, wynosi około 1 K. Razem z utrzymaniem niezbędnego spadku ciśnienia w strumieniu wody chłodzącej, całkowita różnica w zużyciu energii wynosi do **16 kW<sub>th</sub> na 1 MW<sub>th</sub>** chłodzenia.

### 7.7.3 Woda gruntowa a wieża chłodnicza

Różnica temperatury w systemie chłodzącym z jednorazowym przepływem wody gruntowej w porównaniu z wieżą chłodniczą jest większa i wynosi 12 K. Całkowita różnica w zużyciu energii dla chłodzenia wynosi **42 kW<sub>th</sub> na 1 MW<sub>th</sub>** chłodzenia. Przyjęto, że moc zużywana przez pompy wyciągające wodę gruntową jest tego samego rzędu co moc wymagana na wpompowanie wody na wieżę chłodniczą. Jednakże ograniczone możliwości stosowania wody gruntowej zawężają możliwość wykorzystania tej metody oszczędności energii.

## 7.8 Dodatkowe oddziaływania na środowisko

Tabela II.3: Współczynniki oszczędności dla systemów chłodniczych z jednorazowym przepływem i z recyrkulacją

Typ systemu chłodniczego	Współczynnik oszczędności energii $J / J_{\text{włożone}}$	Współczynnik oszczędności finansowych $\text{EUR}_{\text{otrzymane}} / \text{EUR}_{\text{włożone}}$	Środowiskowy masowy współczynnik $\text{CO}_2 / \text{C-X}$
System chłodniczy z przepływem jednorazowym	<b>52</b>	<b>5</b>	<b>3000</b>
Otwarty system chłodniczy z recyrkulacją	<b>285</b>	<b>20</b>	<b>16000</b>

Tabela II.4: Oszczędność energii dla różnych źródeł wody chłodzącej

Porównanie systemów	$\text{kW}_{\text{th}}$ na $\text{MW}_{\text{th}}$	Uwagi
Woda przybrzeżna a wieże chłodnicze	30	Uwarunkowania geograficzne
Woda rzeczna a wieże chłodnicze	16	Lokalne obciążenia cieplne
Woda gruntowa a wieże chłodnicze	42	Ograniczone zasoby

Przedstawione powyżej liczby mogą być wykorzystane do pokazania wyników dla specyficznych obszarów w Europie, jak na przykład wysoko uprzemysłowiona Holandia. Zastąpienie w całym przemyśle wież chłodniczych przez systemy chłodzące z jednorazowym przepływem wody rzecznej, mogłoby w rezultacie doprowadzić do zaoszczędzenia energii  $91 \text{ PJ}_{\text{th}}^5 * 16 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} = 15 \text{ PJ}_{\text{th}}$  rocznie w skali kraju (równoważnego redukcji emisji dwutlenku węgla o 93000 ton rocznie). Wymagałoby to przepływu  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  wody rzecznej przez cały rok. Odwrotnie, tylko te systemy chłodzące, zlokalizowane we względnie małej odległości od rzeki, mogłyby przynosić oszczędności. Większe odległości pociągają za sobą wzrost energii na potrzeby transportu i spadek korzyści wynikających z zastosowania tego źródła wody. Nie jest więc zaskoczeniem, że wiele zakładów przemysłowych i elektrowni zlokalizowanych jest w pobliżu rzek i na wybrzeżu morskim, co podkreśla wagę właściwego wyboru lokalizacji i odpowiedniego zaprojektowania chłodzenia.

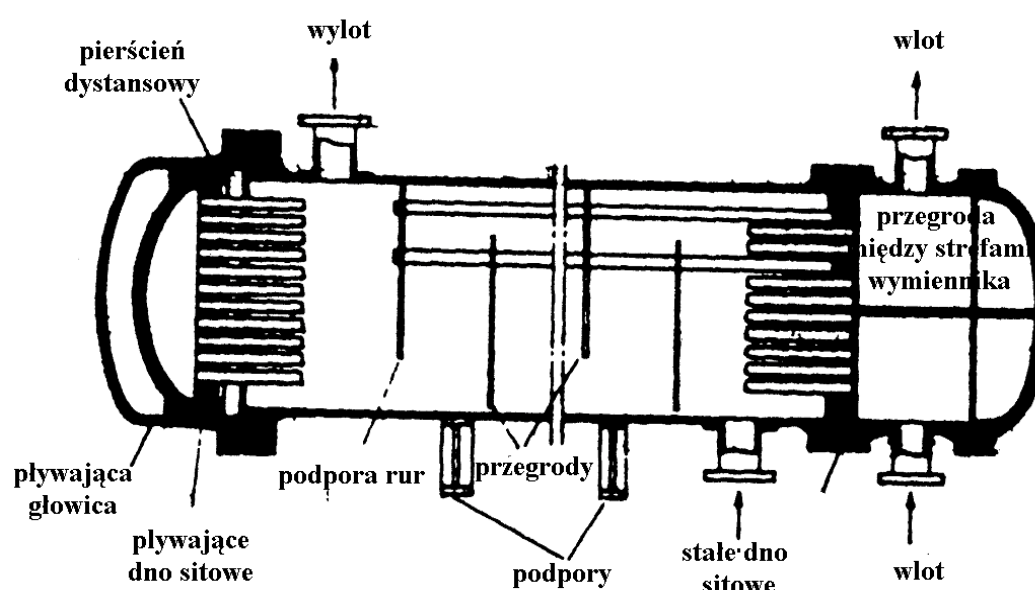
<sup>5</sup> Water symposium 1995; syllabus 43, Nederlands Corrosie Centrum Bilthoven



## 8 ZAŁĄCZNIK PŁASZCZOWO-RUROWE WYMIENNIKI CIEPŁA DLA PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW CHŁODNICZYCH Z PRZEPLYWEM JEDNORAZOWYM I WYSTĘPOWANIE PRZECIEKÓW

Szczególnie ważna jest konstrukcja wymiennika, jako kluczowego elementu systemu chłodzącego. Mogą występować szkodliwe ekologicznie przecieki substancji procesowych do chłodziwa. W systemie chłodzącym z przepływem jednorazowym potrzeba trafnego, dobrego projektowania, działania, remontowania i konserwacji urządzeń jest oczywista. Z uwagi na zwiększenie bezpieczeństwa należy zwracać uwagę na nieszczelności opisane w niniejszym załączniku, biorąc pod uwagę pracę systemów pośrednich (wtórnych). Załącznik ten podaje wnioski co do ilości przecieków branych pod uwagę przy projektowaniu powszechnie stosowanych wymienników ciepła płaszczowo-rurowych, tak aby uniknąć problemów ekologicznych. [tm001, Bloemkolk, 1997].

Wymiennik ciepła płaszczowo-rurowy składa się z płaszcza, dużej liczby równoległych rur, den sitowych, przegród oraz jednej lub dwóch głowic. Wymiana ciepła między mediami odbywa się w ten sposób, że jedno medium jest pompowane przez rury, a drugie na zewnątrz rur w przestrzeni międzyrurowej. W związku z tym ciepło jest transportowane przez ściany rur. Przegrody są usytuowane prostopadle do rur. Zapewniają one lepszą wymianę ciepła (poprzez wzrost turbulencji na zewnątrz rur) oraz podpierają rury. Wymiennik ciepła płaszczowo-rurowy jest przedstawiony na rysunku poniżej.



Rysunek III.1: Główne elementy wymiennika ciepła płaszczowo-rurowego

Istnieje znaczna różnorodność typów wymienników ciepła płaszczowo-rurowych. Wybierając w sposób prawidłowy poniżej przedstawione parametry projektowe, można adaptować wymiennik do właściwych wymagań procesowych i eksploatacyjnych:

- typ płaszcza i głowicy
- typ rur (proste, w kształcie litery U, z żebrami lub bez)
- wielkość rur (średnica i długość)
- odległość między rurami (podziałka) i układ rur (szeregowy, przestawny)
- liczba i typ przegród

- odległość między przegrodami (podziałka przegród)
- liczba przepływów przez rury (liczba obiegów)
- rodzaj przepływu (współprądowy, przeciwprądowy)
- system czyszczenia mechaniczny lub nie, z (wysokim ciśnieniem) wody lub nie

Stowarzyszenie Producentów Wymienników Rurowych (*Tubular Exchanger Manufacturers Association* - TEMA) podaje w ogólnych zarysach nomenklaturę dla różnych typów wymienników ciepła płaszczowo-rurowych.. Stowarzyszenie TEMA opracowało wytyczne do mechanicznego projektowania wymienników.

Zalety i wady wymiennika ciepła płaszczowo-rurowego są wymienione poniżej:

*Zalety:*

- właściwe do wszystkich zastosowań
- możliwe wykonanie prawie ze wszystkich materiałów
- szeroki zakres przepływów i mocy
- mocna, bezpieczna konstrukcja
- dostępne dobre metody obliczeniowe cieplne i mechaniczne przy projektowaniu

*Wady*

- względnie droga powierzchnia wymiany ciepła w odniesieniu do 1 m<sup>2</sup>
- nieoptymalny dla wymiany ciepła
- czyszczenie (pęku rur) od strony płaszczu jest uciążliwe

Petrochemia preferuje ten typ wymiennika ciepła ze względu na jego mocną i bezpieczną konstrukcję. Wybór tego typu płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła dla systemów chłodzenia z przepływem jednorazowym zostanie objaśniony poniżej.

## 8.1 Projektowanie płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła dla systemów chłodzenia z jednorazowym przepływem

Z reguły, dla systemów z przepływem jednorazowym, stosuje się typy płaszczu i rur TEMA AES. Strumień wody chłodzącej przepływa przez rury, a medium procesowe na zewnątrz rur. AES nawiązuje do kodów używanych do opisu różnych rozwiązań płaszczowo-rurowych wymienników ciepła (rysunek III.2)

*Rozmieszczenie mediów*

Ponieważ czyszczenie wymiennika ciepła jest łatwiejsze i lepsze wewnątrz rur niż w płaszczu, dlatego media, z których powstają większe osady, przepływają wewnątrz rur. W przypadku wody chłodzącej powodującej korozję oraz wykonania rur z materiałów odpornych na korozję, uzasadnione ekonomicznie jest skierowanie strumienia wody chłodzącej do wnętrza rur.

*Typ głowicy przedniej: A*

Otwieranie płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła w celu kontroli i remontu jest łatwiejsze przy „głowicy przedniej“ typu A, ponieważ nie trzeba naruszać połączeń rur podczas otwierania głowicy. W związku z tym, ten typ głowic jest prawie zawsze stosowany w wymiennikach ciepła z medium „zanieczyszczającym” wewnątrz rur.

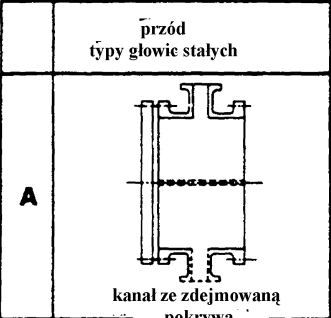
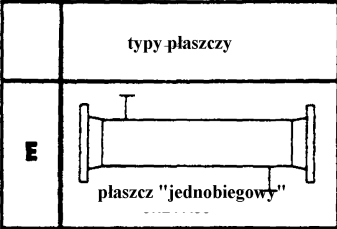
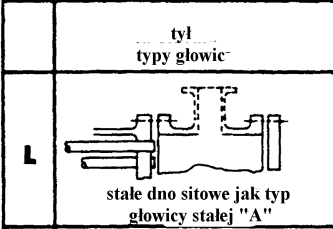
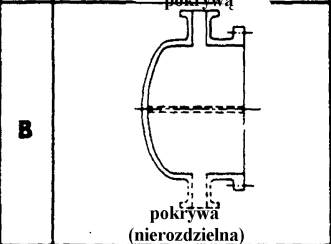
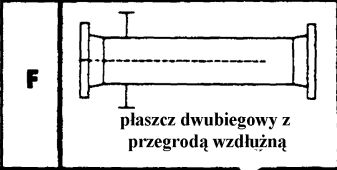
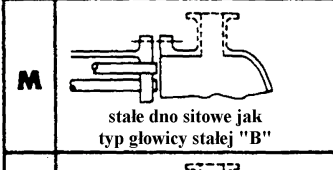
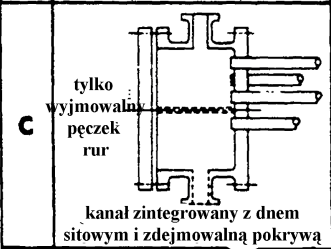
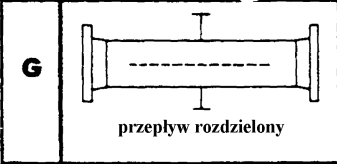
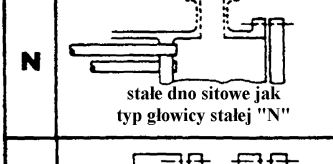
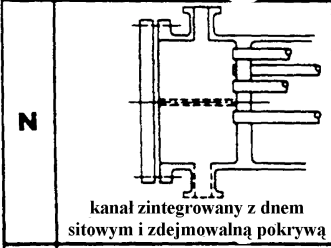
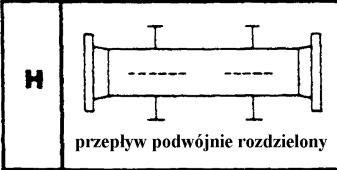
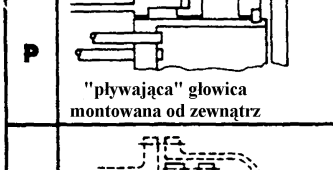
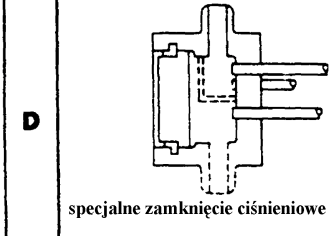
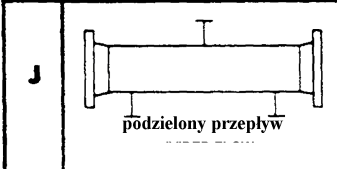
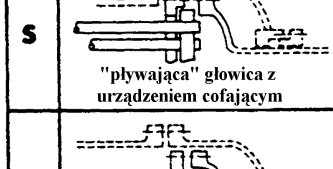
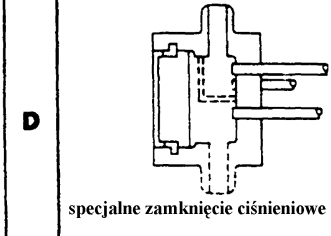
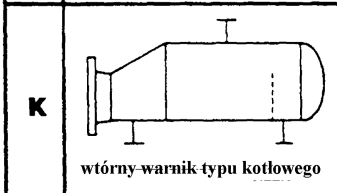
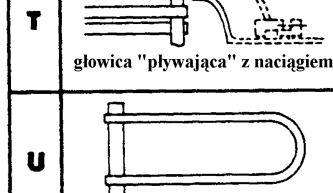
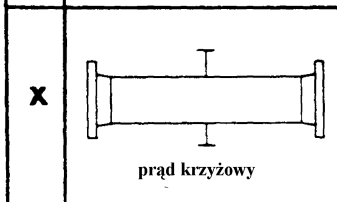
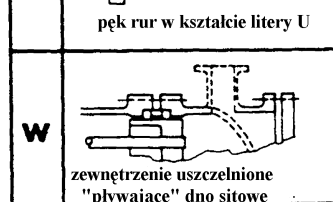
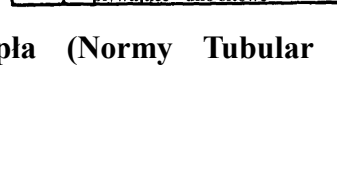
*Typ płaszczu: E*

Wybór typu płaszcza zależy od wymagań technologicznych medium na zewnątrz rurek. Zwykle typ E jest dobierany dla płaszczy „jednobiegowych”.

Typ głowicy tylnej: *S*

Wybór typu „głowicy tylnej“ jest określony przez parametry odnoszące się do:

- potrzeby czyszczenia (mechanicznego lub wodnego) na zewnątrz rurek
- potrzeby czyszczenia (mechanicznego lub wodnego) wewnątrz rurek
- jakości wody chłodzącej (korozyjność, łuszczenie itd.)
- występowania różnicy rozszerzalności cieplnej między płaszczem i materiałem rur
- potrzeby zastosowania przeciwprądu

	przód typy głowic stałych	typy płaszczy	tył typy głowic
<b>A</b>	 kanał ze zdejmowaną pokrywą	<b>E</b>  płaszcz "jednobiegowy"	<b>L</b>  stałe dno sitowe jak typ głowicy stałej "A"
<b>B</b>	 pokrywa (nierozdzielna)	<b>F</b>  płaszcz dwubiegowy z przegrodą wzdłużną	<b>M</b>  stałe dno sitowe jak typ głowicy stałej "B"
<b>C</b>	 tylko wyjmowalny pęczek rur kanał zintegrowany z dnem sitowym i zdejmowalną pokrywą	<b>G</b>  przepływ rozdzielony	<b>N</b>  stałe dno sitowe jak typ głowicy stałej "N"
<b>D</b>	 specjalne zamknięcie ciśnieniowe	<b>H</b>  przepływ podwójnie rozdzielony	<b>P</b>  "plywająca" głowica montowana od zewnątrz
<b>N</b>	 kanał zintegrowany z dnem sitowym i zdejmowalną pokrywą	<b>J</b>  podzielony przepływ	<b>S</b>  "plywająca" głowica z urządzeniem cofającym
<b>D</b>	 specjalne zamknięcie ciśnieniowe	<b>K</b>  wtórny warnik typu kotłowego	<b>T</b>  głowica "plywająca" z naciągami
		<b>X</b>  prąd krzyżowy	<b>U</b>  pęczek rur w kształcie litery U
			<b>W</b>  zewnątrze uszczelnione "plywające" dno sitowe

Rysunek III.2: Klasyfikacja wymienników ciepła (Normy Tubular Exchanger Manufacturers Association - TEMA) [tm003, Van der Schaaf, 1995]

Zwykle dobiera się typ S („typ głowicy pływającej”), ponieważ może on być czyszczony mechanicznie (lub wodą) z dwóch stron, tj. od wewnątrz i z zewnątrz rur. Nie występują również problemy z różnicami między rozszerzalnością cieplną płaszczka i rur. Typ S jest jednakże jednym z droższych typów „głowic tylnych”.

## 8.2 Przecieki w płaszczowo-rurowych wymiennikach ciepła

Przecieki i związane z tym zanieczyszczenie wody chłodzącej przez medium procesowe, występują w płaszczowo-rurowym wymienniku ciepła w kilku przypadkach: w wyniku niewłaściwego połączenia rurek z dnem sitowym, wadliwych rurek i wadliwego połączenia kołnierzonego w miejscu odseparowania obu przepływów („pływająca głowica”). Przecieki mogą wystąpić przede wszystkim w wyniku:

1. złego projektu (około 30% przypadków)
2. złego wykonania
3. pracy poza zakresem projektowym (50-60%)
4. złej kontroli i konserwacji

### 1. Zły projekt

Ponieważ niewłaściwe projektowanie nieuchronnie prowadzi do przecieków, podczas fazy projektowania należy szczególnie uważnie dobierać następujące parametry projektowe:

- wybór materiału
- dobór połączenia rura – dno sitowe (rozwalcowane lub spawane)
- dobór typu pęczka rur
- szczegóły dotyczące uszczelnień
- konstrukcja kołnierzy (grubość, brak możliwości obrotu)
- konstrukcja dna sitowego (grubość, brak ugięcia)
- konstrukcja podpór rur

Wobec powyższych uwag, należy również zwrócić uwagę na warunki „pracy” tzn.:

- występowanie wibracji
- różnice w rozszerzalności cieplnej
- rozdział strumienia
- prędkość przepływu

Projekt niewłaściwy może być również oparty na złych założeniach dotyczących prędkości przepływu i na niepoprawnych danych projektowych.

### 2. Złe wykonanie

Dobry projekt nie gwarantuje zabezpieczenia przed przeciekami. Niewłaściwe wykonanie często może być przyczyną przecieków podczas pracy wymienników ciepła. Podczas wykonania ważną rolę w zabezpieczeniu przed przeciekami odgrywają następujące aspekty:

- procedury dociskania kołnierzy
- niezakłócona obróbka powierzchni uszczelniających
- średnice otworów w dnach sitowych i przegrodach i ich tolerancja
- procedury łączenia przy rozwalcowywaniu lub spawaniu rur z dnem sitowym

### 2. Praca poza zakresem projektowym

Praca w warunkach innych niż projektowe, dla których przewidziano wymiennik ciepła, może prowadzić do uszkodzeń i w ostateczności do przecieków w wymienniku ciepła.

Takie warunki pracy mogą być powodowane przez:

- szok termiczny
- przekroczenie takich parametrów jak zbyt wysokie ciśnienie i/lub zbyt wysoka temperatura
- wzrost lub spadek przepływów
- wibracje
- złuszczenia w rurach (które mogą się oderwać z rury wody chłodzącej), połączone z wibracjami

Dodatkowo, niewłaściwy sposób postępowania podczas napraw i remontów, np. podczas czyszczenia rur parą lub gorącą wodą (uszkodzenia w wyniku rozszerzalności cieplnej).

#### *4. Niewłaściwa kontrola i konserwacja*

W czasie okresowych remontów, wymiennik ciepła jest otwierany i pęczek rur jest wyciągany, czyszczony i kontrolowany. Celem kontroli jest wykrycie i/lub zabezpieczenie przed nieszczelnościami oraz sprawdzenie:

- korozji i/lub erozji w środku i na zewnątrz rur i połączenia rury – dno sitowe
- korozji powierzchni uszczelniających na kołnierzach
- wielkości otworów w przegrodach (czy wzrasta ich średnica między kontrolami)
- zmniejszenia grubości ścian rurek specjalną uwagę należy zwrócić na końcówki rur, rury umieszczone w przegrodach i kolana)
- ugięcia, skręcania lub rozrywania rur
- wzajemnego nacisku rur, rur luźnych
- ugięcia den sitowych
- małych zarysowań (lub perforacji) w rurach i spoinach łączących rury z dnem sitowym
- gładkości i stanu uszczelnień

Okresowe remonty zawsze kończą się wodną próbą ciśnieniową, która polega na poddaniu ciśnieniu całego wymiennika lub jego części celem sprawdzenia, czy wymiennik może już pracować pod odpowiednim ciśnieniem. W ten sposób wymienniki sprawdzane są na szczelność rury, połączenia rur z dnem sitowym i połączenia kołnierzowe. Do wykrycia nieszczelności można stosować szereg dokładnych metod. Stosuje się także powietrze (test „powietrze i woda z mydłem”) lub hel. Gdy pęknięcia lub podejrzone obszary zostaną odnalezione, występuje potrzeba wykonania dodatkowych badań. Gdy nie wykona się tych badań i nie wyeliminuje się tych wad poprzez naprawę lub wymianę części, to wystąpi duże prawdopodobieństwo powstania nowych przecieków w przyszłości.

Pomiary kontrolne obejmują zatykanie rur i wymianę uszczeltek. Jeżeli przedsiębiorstwo posiada własny warsztat, prace naprawczo-remontowe płaszczowego wymiennika ciepła zajmują jeden do dwóch dni. Przecieków lepiej jest unikać dzięki czynnościom zapobiegawczym niż późniejszym naprawom. Właściwy harmonogram czynności konserwacyjnych, wpisany do książki raportów, pozwala na lepsze zaplanowanie prac remontowych. Zaleca się, aby takie czynności, jak zamknięcie wymiennika, uszczelnianie i skręcanie były wykonywane pod nadzorem, co w przyszłości zapobiegnie przeciekom. Przy tych pracach należy używać kluczy dynamometrycznych z regulowanym momentem obrotowym.

### 8.3 Alternatywne rozwiązania

Prawdopodobieństwo przecieków można zmniejszyć przez dobór alternatywnych materiałów, typu TEMA, połączeń den sitowych z rurami, typów uszczelnień i poziomu ciśnienia roboczego w systemach chłodniczych.

#### *Wybór materiału*

Zamiast stali węglowej, po stronie wody chłodzącej w wymienniku ciepła można stosować materiały o wyższej jakości, jak np. stopy aluminiowe, miedź, nikiel i tytan. Prowadzi to do znacznego podniesienia kosztów wymiennika ciepła, w porównaniu z wykonaniem rur i den sitowych ze stali węglowej (patrz załącznik IV).

#### *Inny typ wymiennika ciepła*

Przez wybór innego typu wymiennika ciepła można zmniejszyć prawdopodobieństwo przecieku do poziomu marginalnego.

Alternatywnymi rozwiązaniami są:

- wymiennik ciepła z rurami wygiętymi w kształcie litery U
- wymiennik ciepła z konstrukcją podwójnego dna sitowego
- obydwa rozwiązania razem rury w kształcie litery U i podwójne dno sitowe

W wymienniku ciepła z rurkami w kształcie litery U nie ma głowicy pływającej, zatem nie ma uszczelnienia kołnierza przy tylnej głowicy. Typ z rurami U-kształtowymi jest o 10 do 15% tańszy od typu z pływającą głowicą. Jeżeli wystąpią nieszczelności w połączeniu rura – dno sitowe, to nastąpi emisja do atmosfery zamiast do drugiego medium. Natomiast rozwiązanie z podwójnym dnem sitowym jest znacznie droższe.

#### *Połączenie rura – dno sitowe*

Przy połączeniu spawanym rura – dno sitowe są mniejsze szanse przecieku, niż przy połączeniu rozwalcowywanym. Rozwalcowanie rur po wykonaniu połączenia spawanego pozwala na lepsze zabezpieczenie istniejącego wymiennika przed przeciekami. Można tu wykonać dwie spoiny: spoinę uszczelniającą (jedna warstwa spawu) lub mocną spoinę (zwykle dwie warstwy spawu). Wzrost kosztów w przypadku połączenia spawanego jest wyższy około 9 do 11 Euro na jedną rurę, niż przy połączeniu rozwalcowywanym.

#### *Typ uszczelnienia*

W przypadku uszczelki kołnierza pływającej głowicy, można zmienić typ uszczelnienia. Zwykły typ uszczelnienia, na przykład „bezazbestowy metal zwijany” lub uszczelnienie o profilu krzywki, może być zastąpione przez spoiną uszczelniającą („Schweisssichtung”).



## 9 ZAŁĄCZNIK PRZYKŁAD WYBORU MATERIAŁU DLA SYSTEMU WODY CHŁODNICZEJ W ZASTOSOWANIACH PRZEMYSŁOWYCH (ZA WYJĄTKIEM ENERGETYKI)

[Tm001, Bloemkolk, 1997]

### 9.1 Wprowadzenie

Wybór materiałów konstrukcyjnych dla urządzeń chłodniczych, szczególnie dla chłodnic (wymienników ciepła), ma w wielu przypadkach złożony charakter. Jest to wynikiem kompromisu pomiędzy wymaganiami związanymi z chemią wody i wymaganiami roboczymi (ściśle określone użycie dodatków, liczba cykli, stężenia). Do spełnienia tych wymagań oferowany jest szeroki wachlarz materiałów. Załącznik niniejszy prezentuje kilka opcji materiałowych, które mogą być zastosowane w przypadku wody słonej w otwartych systemach z przepływem jednorazowym. Jest to jakościowy wybór zastosowań. W indywidualnych przypadkach ostateczny wybór będzie związany z kosztami produkcji i eksploatacji.

*Wybór materiałów do budowy wymienników ciepła*

Istnieje wiele czynników, które determinują wybór materiałów do budowy wymienników ciepła, takich jak:

- Skład i własności korozyjne wody chłodzącej
- Sposób pracy, tzn. chłodzenie z przepływem jednorazowym lub z recyrkulacją
- Właściwości korozyjne i inne medium chłodzonego
- Typ chłodnicy
- Okres eksploatacji
- Koszty

Jest to kilka ważniejszych kryteriów branych po uwagę przy projektowaniu nowej chłodnicy, na podstawie których dokonuje się ostatecznego wyboru materiałów. W wielu przypadkach ten wybór stanowi najlepszy możliwy kompromis stosownie do zasady, że „okres eksploatacji” chłodnicy musi być akceptowalny ekonomicznie. W „okresie eksploatacji” jednakże wiele chłodnic zaczyna przeciekać. Ważną przyczyną tego jest fakt, że, że w praktyce chłodnica nie jest używana zgodnie z wymaganiami projektowymi; oprócz tego występują różnorodne zmiany warunków procesu, wynikające z różnych przyczyn.

Istotne przyczyny mogące prowadzić do przecieków są następujące:

- zbyt wysoka lub zbyt niska prędkość w rurach i słaba cyrkulacja w płaszczu (tabela IV.1);
- niedostateczne uzdatnienie wody tzn. stosowane metody i kontrola;
- zbyt wysoka temperatura metalu po stronie wody chłodzącej.

Biorąc pod uwagę temperaturę metalu, wartość 60°C jest brana jako górna graniczna, gdyż powyżej tej temperatury inhibitory korozji są mniej lub bardziej nieefektywne. W systemach z przepływem jednorazowym formują się sole wapnia.

**Tabela IV.1: Typ materiału i prędkość wody chłodzącej**

Material	Prędkość (m/s)
Stop aluminiowy	1,0 - 2,1
Miedzionikiel (90-10)	1,0 - 2,5
Miedzionikiel (70-30)	1,0 - 3,0



Stal węglowa	1,0 - 1,8
Stal nierdzewna austenityczna (316)	2,0 - 4,5
Tytan	2,0 – 5,0

#### *Wybór materiału do budowy pomp*

Wybór materiału do budowy pompy jest mniej istotny, ponieważ z wielu powodów jest to wyposażenie podwójne. Oznacza to, że w razie uszkodzenia pompy proces przebiega dalej. Innym elementem jest fakt, że ściany pomp są znacznie grubsze (z dodatkiem na korozję) niż jest to potrzebne.

#### *Wybór materiału na rury do wody chłodzącej*

W wielu przypadkach stal węglowa ma wystarczająco wysoką odporność korozyjną i jest wybierana jako materiał na rury do wody chłodzącej. Jeżeli korozyjność powyżej 3 mm jest niewystarczająca na zaplanowany okres eksploatacji, można zastosować materiały alternatywne, jak np. tworzywa sztuczne, stal węglową z powłokami organicznymi lub, w wyjątkowych przypadkach, stale stopowe wyższej jakości, jak stal nierdzewna, monel i inne stopy niklu itd. Zaletą rur urządzeniach stosunku do urządzeń jest łatwość i niski koszt ich wymiany, w związku z tym wybór materiału nie jest tu tak istotną sprawą.

## **9.2 Bezpośrednie systemy z przepływem jednorazowym (z wodą słonąwą)**

Skład i właściwości korozyjne „wody słonawej” nie są wartościami stałymi i mogą wystąpić różnice między „świeżą” wodą powierzchniową a wodą morską. Woda słonawa znajduje się w obszarach przejścia pomiędzy rzekami i/lub innymi dopływami „słodkiej” wody do morza (np. delty rzek). Skład i właściwości mogą się znacznie różnić w zależności od lokalizacji i pory roku. Również lokalna głębokość wody, prądy wodne (przemieszczające) i pływy mogą odgrywać ważną rolę w korozyjności tego rodzaju wody. Niektóre rodzaje wody słonawej mają wyższą korozyjność niż woda morska. Na przykład, w wodzie powierzchniowej z obfitą roślinnością może wzrastać zawartość siarki w wyniku obumierania roślin, która to siarka może znacznie przyczynić się do poważnej korozji wżerowej w stopach miedzi. W wielu przypadkach znaczna ilość zawiesiny może w istotny sposób zanieczyszczać wymienniki ciepła w instalacjach. W związku z tym zastosowanie stali nierdzewnej jest problematyczne, ponieważ formowanie się wżerów (pitting – korozja punktowa) przebiega szybko. Ponadto wszystkie te czynniki nie są dobrze znane, dlatego w wielu przypadkach zaleca się porównywać korozyjność wody słonawej do wody morskiej ze względnie wysokim poziomem zawiesiny. Inna zaleta jest taka, że istnieje znaczna wiedza i doświadczenie dotyczące korozyjności wody morskiej.

#### Pompy

Zależnie od sytuacji, materiały z tabeli poniżej są często stosowane do budowy pomp do wody słonawej (inne materiały są również możliwe do zastosowania, ale zwykle znacznie droższe).

Tabela IV.2: Materiały używane do budowy pomp do wody słonawej

Obudowa	Wirnik	Wał napędowy	Uwagi
Żeliwo sferoidalne)*	Brąz cynowy	316	)* Można stosować żeliwo szare, które jest jeszcze lepsze. Czasami używane jest staliwo.
Brąz aluminiowy	Stal nierdzewna 316)*	Monel	)* Austenityczna stal nierdzewna (Cr-Ni-Mo 18-8-2)
Brąz aluminiowy	Brąz aluminiowy	Monel	
Brąz cynowy	Brąz aluminiowy	Monel	
Brąz cynowy	Stal nierdzewna 316	Monel	

Istnieje tendencja takiego wyboru kombinacji korpusu i obudowy, aby korpus był anodową częścią ochrony antykorozyjnej.

#### Rury

W większości przypadków stosowana jest stal węglowa ze swoją odpornością korozyjną. Inną możliwością jest zastosowanie stali węglowej z powłokami organicznymi lub betonowanie jej. W obu przypadkach spoiny są słabym punktem w konstrukcji.

Obecnie w coraz większym stopniu stosuje się rury wzmacniane żywicami epoksydowymi wzmacnianymi włóknem szklanym, szczególnie w układach podziemnych. Istotną zaletą tego materiału jest jego niemal całkowita odporność na wodę gruntową. Koszty instalacji z użyciem tych rur są porównywalne z kosztami instalacji z rurami ze stali węglowej z organicznymi powłokami wewnętrznymi lub zewnętrznymi. Z czasem rozwiązanie to okazuje się być tańsze.

#### Wymienniki ciepła/ chłodnice

Jak wcześniej wspomniano, wybór materiału do budowy wymiennika ciepła jest sprawą skomplikowaną, ponieważ w kwestii pęczka rur trzeba brać pod uwagę korozyjność medium chłodzonego. Zakładając, że medium procesowe nie jest korozyjne wobec materiału pęczka rur i że możliwe zanieczyszczenia (na przykład przez jony miedzi) nie mają większego znaczenia, wybór materiału jest głównie określony jakością wody.

Możliwości wyboru materiałów do budowy płaszczowo-rurowych wymienników ciepła na wodę słoną przedstawiono w tabeli poniżej (woda przepływa wewnątrz rur).

Tabela IV.3: Materiały stosowane do budowy płaszczowo-rurowych wymienników ciepła do słonawej wody

Płaszcz/korpus	Płaszcz wodny	Rury	Dno sitowe
Stal węglowa	Stal węglowa	Stal węglowa)* <sup>1</sup>	Stal węglowa
Stal węglowa	Stal węglowa)* <sup>2</sup>	Mosiądz aluminiowy	Stal węglowa
Stal węglowa	Stal węglowa)* <sup>2</sup>	Mosiądz aluminiowy	Mosiądz aluminiowy

Stal węglowa	Stal węglowa) <sup>*2</sup>	Mosiądz aluminiowy lub i miedzionikiel) <sup>*4</sup>	Stal węglowa z wykładziną z mosiądzu aluminiowego
Stal węglowa	Brąz cynowy	Stal nierdzewna 316) <sup>*3</sup>	Stal węglowa
Stal węglowa	Stal węglowa) <sup>*2</sup>	Tytan) <sup>*5</sup>	Stal węglowa

Komentarz do tabeli IV.4:

Istnieją różne możliwości wyboru z listy zamieszczonej powyżej. Ostateczny wybór jest w większości określony przez poziom korozyjności wody słonej i warunki procesu.

- )<sup>\*1</sup> Rury ze stali węglowej są możliwe do zastosowania, kiedy ustalono, że woda nie jest korozyjna (tzn. przez praktyczne badania doświadczalne). Opcja ta prawie nigdy nie występuje.
- )<sup>\*2</sup> Osłonę przed wodą stanowią powłoki organiczne plus ochrona anodowa. Jeżeli dno sitowe jest wykonane z bardziej szlachetnego materiału, należy stosować powłoki organiczne, aby ochronić ten metal przed powstaniem w obecności wody ogniwa elektrochemicznego.
- )<sup>\*3</sup> Zastosowanie materiału austenitycznego, jak 316, nie odbywa się bez ryzyka. W przypadku zanieczyszczeń, występuje duże prawdopodobieństwo korozji punktowej (pittingu). Proces ten może zachodzić bardzo szybko. Innym ryzykiem jest możliwość wystąpienia korozji naprężeniowej w tego typu materiale. Jednakże praktyczne doświadczenia pokazują, że nie występuje to często, gdyż w tego typu systemach panuje względnie niska temperatura. Ryzyko można znacznie zmniejszyć lub zlikwidować przez zastosowanie stali stopowych o wyższej odporności korozyjnej, takich jak 904L, 254SMO lub Incoloy 825. Te rodzaje materiałów są również używane, gdy po stronie procesowej wymiennika występują takie wymagania.
- )<sup>\*4</sup> Stopy miedzi z niklem i inne są wybierane, gdy projektowa temperatura metalu jest zbyt wysoka dla mosiądzu aluminiowego.
- )<sup>\*5</sup> W wielu przypadkach najlepszym wyborem jest tytan. Często uważa się, że tytan jest zbyt kosztowny. Cena tego materiału znacząco spadła na przestrzeni ostatnich dekad i stosowano go już ekonomicznie. Oczekiwania są takie, że spadek różnicy kosztów i wzrastające problemy z obróbką wody doprowadzą do wzrostu użycia Ti, porównywalnego do obecnego zastosowania stopów Cu-Ni. Oprócz wysokiej odporności korozyjnej, nawet w przypadku znacznego zanieczyszczenia wody, materiał ten ma inne zalety:
- Możliwe jest stosowanie nadzwyczaj cienkościennych rur, a więc mniej materiału używa się na 1 m<sup>2</sup> powierzchni wymiany ciepła.
  - Występuje bardzo dobre przewodnictwo ciepła.
  - Wartość złomu jest wysoka, a materiał można powtórnie zastosować.
  - Okres eksploatacji jest długi.

Wadą jest silniejszy wzrost zanieczyszczeń biologicznych, niż w przypadku na przykład stopów zawierających miedź. Wymaga to zatem stosowania biocydów. Inną sprawą jest fakt, że tytan nie może być stosowany w atmosferach redukujących, ponieważ nie powstaje ochronna warstwa tlenków.

### 9.3 System pośredni z przepływem jednorazowym (woda słonawa/woda demineralizowana)

W pośrednim (wtórnym) systemie z przepływem jednorazowym ciepło jest odbierane przez wtórny zamknięty obieg chłodzenia, z którego ciepło jest przekazywane przez wymiennik ciepła do otwartego układu z przepływem jednorazowym. Charakterystyczne jest, że w tych systemach występuje różna jakość/korozyjność wody dla każdego obiegu chłodzącego. Obieg pierwotny zawiera zwykle wodę o gorszej jakości niż wtórny. W tym przypadku obieg pierwotny zawiera wodę słonawą, a wtórny - wodę zdemineralizowaną.

#### Wybór materiału dla pierwotnego obiegu systemu chłodzącego

Materiały do budowy obiegu pierwotnego, zawierającego wodę słoną, zostały opisane w rozdziale IV.2. Wymiennik ciepła między obiegiem pierwotnym i wtórnym jest niezwykle ważny dla procesu. Uszkodzenie tego wymiennika ma poważne konsekwencje, więc trzeba to brać pod uwagę przy wyborze materiału. Gdy w obiegu pierwotnym medium chłodzącym jest woda słonawa, wtedy najlepszym materiałem na rury lub dna sitowe jest tytan. Inne stopy wysokiej jakości, jak 254 SMO lub lepsze, mogą być brane pod uwagę, ale w większości przypadków tytan jest najlepszym materiałem.

#### Wybór materiału dla obiegu wtórnego

Zasadniczą sprawą dla wtórnego obiegu zamkniętego jest przygotowanie wody bez zawartości tlenu, dla ochrony przed korozją. W tym przypadku, jako medium chłodzące, powinna być zastosowana woda zdemineralizowana. Jednakże napowietrzana woda demineralizowana jest nadzwyczaj korozyjna dla stali węglowej. Można temu zapobiec przez nadanie wodzie odczynu zasadowego (pH=9). Czysta woda wodociągowa ze względnie wysoką zawartością chloru jest w zasadzie równie dobra, jak woda demineralizowana.

Gdy występują te zabezpieczenia, można stwierdzić, że woda jest „martwa”, co oznacza jej minimalną korozyjność. W zasadzie wszystkie elementy, włączając rury w wymiennikach ciepła, pompy i ozebrowanie rur, mogą być wykonane ze stali węglowej. Naturalnie, należy również brać pod uwagę warunki technologiczne. Ważną rzeczą jest regularne sprawdzanie stężenia tlenu w tych instalacjach. W niektórych przypadkach jako inhibitory stosuje się azotany. Poprzez utrzymanie odczynu zasadowego i/lub przez azotowanie wody, zawartość tlenu jest mniej szkodliwa.

### 9.4 Otwarte systemy chłodzące z recyrkulacją

#### 9.4.1 Zastosowanie świeżej wody w otwartej mokrej wieży chłodniczej

Odnosnie do zastosowania materiałów, przy projektowaniu otwartego systemu chłodzącego z recyrkulacją (otwarta mokra wieża chłodnicza), jednym z celów jest uzdatnianie wody w systemie (za pomocą inhibitorów, regulacji pH itp.) w taki sposób, by stosowanie stali węglowej dla większości elementów systemu było ekonomicznie uzasadnione.

Ten przypadek jest oparty na wodzie wodociągowej. Zależnie od składu i cykli stężeń, stężenie składników w tej wodzie będzie wzrastało (czasami nazywane „zagęszczeniem”), przy czym ilość rozpuszczonych soli wzrasta proporcjonalnie, co zwiększa korozyjność. Przy stosowaniu inhibitorów i przy prawidłowym poziomie pH, ten efekt jest eliminowany. Projektowanie takich systemów jest zwykle oparte na stwierdzeniu faktu, że woda nie jest korozyjna dla stali węglowej.

Większość elementów, takich jak rury i pompy, jest wykonanych ze stali węglowej. Rury w wymiennikach ciepła są również często wykonane ze stali węglowej. W bardziej krytycznych układach lub dla podniesienia bezpieczeństwa rury są często wykonywane z mosiądzu aluminiowego. Zwykle pojawiają się problemy, gdy medium chłodzone ma własności korozyjne. W bardzo wielu przypadkach należy stosować stal austenityczną lub lepiej stopy, pamiętając o ryzyku pojawienia się wymienionych wcześniej zagrożeń, np. korozji punktowej (pitting) i naprężeniowej.

Najważniejszą sprawą jest ograniczenie zanieczyszczeń do minimum. Dotyczy to w zasadzie wszystkich wodnych systemów chłodniczych. W systemie otwartym z recyrkulacją często stosuje się filtrację „po stronie strumienia cieczy” lub w chłodnicach (skraplaczach) instaluje się system samooczyszczający (na przykład z zastosowaniem kulek gumowych).

#### **9.4.2 Zastosowanie wody zasolonej w otwartych, mokrych wieżach chłodniczych [tm110, BDAG, 1995]**

Stosowanie wody zasolonej lub słonawej w wieżach chłodniczych wymaga zwrócenia uwagi na korozyjność metali. Pewne obserwacje można pokrótce omówić. Do wody zasolonej można z dobrym skutkiem dodawać kawałki twardego drewna i drewno sprasowane. Ta druga metoda nie może być jednak brana pod uwagę ze względu na akustyczne obciążenia środowiskowe. Cement odporny na siarczany, stosowany w zewnętrznych i wewnętrznych konstrukcjach żelbetowych, jest materiałem dobrze sprawdzonym. Można stosować krzem, brąz aluminiowy i/lub stal nierdzewną, lecz z powłoką galwaniczną wyłącznie powyżej poziomu wody.

Powłoki z tworzyw sztucznych są polecane dla brązów.

Materiały wypełniające powinny charakteryzować się wolnym narastaniem osadów przy dużej pojemności przestrzeni wewnętrznych, tak aby zapewnić film wodny (w górnej części) i brak tego filmu (w niższych partiach). Prędkość wody powinna być wystarczająco niska dla ochrony przed korozją, ale jednocześnie wystarczająco wysoka dla ochrony przed osadzaniem się ciężkich cząstek stałych. Te określone kroki mogą, między innymi, przyczynić się do zredukowania wymagań uzdatniania wody zasolonej.

## 10 ZAŁĄCZNIK PRZEGLĄD SUBSTANCJI CHEMICZNYCH DOPROWADZANYCH DO WODNYCH SYSTEMÓW CHŁODNICZYCH

We wszystkich systemach chłodniczych stosuje się dodatki uzdatniające wodę chłodzącą, mające na celu zabezpieczenie tych systemów i uniknięcie zmniejszenia intensywności wymiany ciepła w wyniku tworzenia się kamienia, osadów i korozji. Szeroki wachlarz dodatków stosuje się w celu zapobieżenia problemom z wodą chłodzącą. W niniejszym załączniku przedstawiono przegląd różnych typów dodatków stosowanych w różnych mokrych systemach chłodniczych. W końcowej części zostanie omówione uzdatnianie wody chłodzącej dla otwartych, mokrych wież chłodniczych dla zilustrowania komplikacji towarzyszących uzdatnianiu wody chłodzącej i odgrywających tu rolę elementów.

### 10.1 Inhibitory korozji

#### 10.1.1 Korozja

Korozja może być zdefiniowana jako niszczenie metalu przez reakcje chemiczne lub elektrochemiczne w jego otoczeniu. W rezultacie powstają tlenki metalu lub inne sole, które mogą zniszczyć materiał. W systemach chłodniczych korozja sprowadza się do dwóch podstawowych problemów. Pierwszy, bardzo oczywisty, to uszkodzenia urządzeń pociągające za sobą koszty wymiany i koszty przestojów. Drugi to spadek sprawności związany ze stratami wymiany ciepła w wyniku powstawania osadów w wymienniku ciepła, spowodowanych gromadzeniem się produktów korozji.

Korozja jest skutkiem obecności tlenu, zawartości soli, ich osadzaniem się albo nadmiernie niskim poziomem pH.

Korozja może często być wynikiem osadów pochodzących od organizmów żywych, zwanych korozją mikrobiologiczną (MIC): bakterie produkujące kwasy są przyczyną korozji a wibrujące złuszczenia - przyczyną erozji.

#### 10.1.2 Zastosowanie inhibitorów korozji

Inhibitory mogą być sklasyfikowane w zależności od ich funkcji. Usuwają skorodowany materiał, dezaktywują, wytrącają lub adsorbują. Inhibitory dezaktywujące (anodowe) tworzą ochronną warstwę tlenku na powierzchni metalu. Inhibitory wytrącające (katodowe) są prostymi substancjami chemicznymi, które powodują wytrącanie cząsteczek i mogą tworzyć z nich powłoki ochronne na powierzchni. Adsorpcyjne inhibitory mają właściwości biegunowe, czego skutkiem jest adsorbowanie ich na powierzchni metalu.

Stosowanie różnorodnych inhibitorów zależy od systemu chłodzenia. W **systemach z przepływem jednorazowym** stosowane są polifosforany i cynk, a także ma miejsce ograniczone zastosowanie krzemianów i molibdenianów. W niektórych krajach prawie nie dozuje się inhibitorów korozji w systemach z przepływem jednorazowym, z wyjątkiem np. „żółtych” inhibitorów metalowych (tj. siarczan żelaza) dodawanych do stopów miedzi w wymiennikach ciepła lub w skraplaczach.



W **otwartych systemach z recyrkulacją** wymagane są na ogół obszerniejsze programy kontroli korozji. Od wielu lat stosowane są programy oparte na chromianach, ale w związku z toksycznością ich stosowanie znacząco spada i nie powinno się ich już używać, ponieważ istnieją lepsze alternatywy. W wielu współczesnych programach antykorozyjnych stosuje się inhibitory na bazie fosforanów z dodatkiem cynku, jeżeli warunki dotyczące wody tego wymagają. Często jest wybierany system oparty na środowisku zasadowym (pH 8-9), ale w takich okolicznościach powinny być stosowane biocydy i środki rozpraszające. Woda jest wtedy niewspółmiernie mniej korozyjna. Wadą pracy w środowisku zasadowym jest wzrost potencjału tworzenia się kamienia. Warunki zasadowe w połączeniu z fosforanami organicznymi są skutecznym sposobem zapobiegania korozji i tworzeniu się kamienia.

Teoretycznie, **zamknięty system wodny** nie wymaga inhibitorów korozji. Nieznaczna zawartość tlenu w wodzie, wprowadzona początkowo do systemu, powinna wkrótce się wyczerpać przez utlenienie metali, po czym korozja nie powinna już występować. Jednakże w systemach zamkniętych występują straty wody i dopływ powietrza, a więc wymagana jest ochrona antykorozyjna. Inna teoria mówi, że długi okres pozostawiania wody, do kilku miesięcy, powoduje potrzebę intensywnego uzdatniania z wykorzystaniem inhibitorów korozji. Dla systemów zamkniętych trzy najbardziej niezawodne inhibitory korozji to chromiany, molibdeniany i azotany. Zasadniczo, chromiany lub molibdeniany są lepiej sprawdzone w uzdatnianiu wody. Toksyczność chromianów ogranicza ich stosowanie, zwłaszcza gdy system musi być odwadniany. W wielu przypadkach dostępne są alternatywy bezchromianowe, ale stosowanie chromianów w kilku Państwach Członkowskich nadal jest dozwolone. Uzdatnianie za pomocą molibdenianów zapewnia efektywną ochronę przed korozją i wydaje się bardziej ekologiczne niż za pomocą chromianów.

Ostatecznie, od warunków w systemie chłodniczym (użytych materiałów i pH) zależy, jakie inhibitory są najlepsze. Na przykład bardzo efektywnym inhibitorem korozji dla miedzi są azole aromatyczne. Stężenia związków aktywnych w systemie chłodniczym z recyrkulacją i odparowaniem przeciętnie wynoszą od 2 do 20 mg/l. Dla niektórych inhibitorów anodowych (jak np. chromiany, molibdeniany i azotany) stosowane stężenie w systemach zamkniętych wynosi od 500 do 1000 mg/l.

## 10.2 Inhibitory kamienia kotłowego

### 10.2.1 Osadzanie kamienia

Jeżeli stężenie soli w warstwie wodnej wewnątrz wymiennika ciepła przekracza granicę ich rozpuszczalności, to ma miejsce wytrącanie, które powoduje osadzanie kamienia. Głównymi czynnikami tworzącymi kamień są węglan wapnia i fosforan wapnia, ale również siarczan wapnia, krzemiany, Zn i Mg, które można zaliczyć do minerałów zawartych w wodzie. Osadzanie kamienia kotłowego zmniejsza przepływ ciepła w wymienniku, ponieważ przewodnictwo cieplne węglanu wapnia jest około 25 razy mniejsze niż stali. Osadzanie kamienia kotłowego zależy od trzech głównych czynników: mineralizacji (zasadowości), wyższej temperatury i pH w cyrkulującej wodzie oraz czynników wtórnych: obecności materii organicznej i składu chemicznego powierzchni wymiennika ciepła. Można również odpowiednio ukształtować powierzchnię wymiennika ciepła, aby ograniczyć osadzanie kamienia. Karbowanie, fałdowanie skośne kanałów (ryflowanie) i niewystarczający stosunek strumienia wody do powierzchni wymiany sprzyjają osadzaniu kamienia. W systemach z recyrkulacją wysokie stężenia mogą również prowadzić do powstawania kamienia.



Osadzanie kamienia może być znaczącym problemem w wieżach chłodniczych, ponieważ cienka warstewka wody jest bardzo podatna na różne typy nalotów. Z powodu odparowania (1,8% cyrkulacji na 10 K chłodzenia) w wieżach zachodzi zateżnienie się w wodzie recyrkulacyjnej minerałów i substancji organicznych, tak że wzrasta skala osadzania kamienia.

Dla elektrowni w szczególności przedstawiono przypadki zwiększające osadzanie kamienia:

- ogrzewanie wody powyżej 30°C przy chłodzeniu bezpośrednim i 45°C w obiegach dodatkowych,
- odparowanie wody wpływa na chłodzenie podczas przepływu przez wieże chłodnicze, powoduje wzrost stężenia nierozpuszczalnych soli do współczynnika 1,6 lub wyższego stężenia równowagowego,
- straty wolnego dwutlenku węgla podczas przepływu przez wieże są przyczyną wzrostu pH, które zależy od przepływu wody i typu wypełnienia. W starszych wypełnieniach z drewna wartość pH wynosiła 7,5 – 7,8, a obecnie przy wypełnieniach z tworzyw sztucznych wartość pH wzrasta do 8,2-8,4 w małych wieżach (do 250 MW) i ma podobną wartość dla dużych wież (900 MW i więcej).

### 10.2.2 Stosowanie inhibitorów kamienia

Osadzanie kamienia może odgrywać rolę w systemach z przepływem jednorazowym i systemach otwartych z recyrkulacją. W systemach zamkniętych z recyrkulacją nie powinno ono mieć większego znaczenia. Znaczenie może być większe w przypadku częstego dodatkowego uzupełniania wody w układzie i zależy od czynników omówionych powyżej.

Wzrost stężenia soli w wodzie chłodzącej w **otwartych systemach chłodzenia z recyrkulacją** i systemach dystrybucyjnych powodowany jest odparowaniem wody w wieżach oraz regulowany przez spuszczenie wody. Współczynnik określający stosunek ilościowy substancji rozpuszczonej w wodzie obiegowej do wody wypływającej jest nazywany *współczynnikiem koncentracji*. Współczynnik koncentracji zawiera się w zakresie 2-3 dla małych elektrowni i 8-9 dla dużych elektrowni z przemysłowymi wodnymi systemami chłodzenia z recyrkulacją. Typowy współczynnik koncentracji w przemyśle (poza energetyką) mieści się w zakresie 3-5.

W praktyce, osadzanie kamienia jest kontrolowane przez wartość pH poprzez dozowanie kwasu oraz przez zastosowanie inhibitorów kamienia. Doświadczenia z dużymi systemami w elektrowniach wyposażonych w wieże chłodnicze pokazują, że uzdatnianie za pomocą kwasów (kwasu siarkowego i kwasu solnego) nie doprowadza do zmiany pH, które pozostaje zasadowe. Kwasy raczej neutralizują zasadowość, w celu uniknięcia wytrącenia CaCO<sub>3</sub>.

Jednakże w wodzie dekarbonizowanej regulacja pH może być dokonywana przez dodanie kwasów. Dekarbonizacja przez wytrącenie węglanów wapnia zależy od trzech głównych czynników: mineralizacji (zasadowości), temperatury i pH w cyrkulującej wodzie. Drugorzędnymi czynnikami są: obecność materii organicznej i skład chemiczny powierzchni wymiany ciepła.

Podano trzy możliwości uniknięcia osadzania kamienia w wymiennikach ciepła i mokrych wieżach chłodniczych w wielkich mokrych systemach chłodniczych przy chemicznym uzdatnianiu wody chłodzącej:

- dekarbonizacja wody uzupełniającej (skutkująca powstaniem szlamów, które należy usuwać)

- dodawanie kwasu
- dodawanie organicznych inhibitorów kamienia

Najważniejszymi związkami ograniczającymi osadzanie kamienia są polifosfaty, fosforany, poliakrylany, kopolimery i ter-polimery. Typowe stężenie związków ograniczających osadzanie kamienia, jako mieszanin aktywnych, wynosi od 2 do 20 mg/l. Stabilizatory twardości, chroniące przed tworzeniem kryształów, są stosowane w układach z recyrkulacją, ale nigdy lub niezwykle rzadko w systemach z przepływem jednorazowym.

W **systemach zamkniętych z recyrkulacją** nie ma problemu z osadzaniem kamienia w obiegu pierwotnym z wyjątkiem sytuacji, w której musi być stosowana woda twarda. W wielu układach zamkniętych, dla zapobieżenia osadzaniu się kamienia, stosuje się uzupełnianie wodą zmiękczoną zeolitami lub kondensatem. W zasadzie, w przypadku strat wody lub przecieków powietrza ma miejsce nieznaczna korozja. W obiegach wtórnych woda krąży w układzie swobodnego odparowania. Tutaj korozja może występować po zewnętrznej stronie węzownic, gdzie ma miejsce wymiana mokrego ciepła.

## 10.3 Inhibitory osadów (rozpraszacze osadów)

### 10.3.1 Osady

Osady występują, gdy nierozpuszczalne organiczne cząstki zawieszony w wodzie w **systemach chłodzenia z przepływem jednorazowym i otwartym z recyrkulacją** osiadają na powierzchniach. Czynniki wzmagające osadzanie to struktura i rozmiary cząsteczek oraz niska prędkość przepływu wody. Osadzać się mogą ziarna piasku, szlam, tlenki żelaza i inne produkty korozji oraz produkty reakcji z niektórymi substancjami chemicznymi pochodzącymi z uzdatniania wody. Substancje tworzące osady mogą pochodzić od powietrza, być dostarczone z wodą chłodzącą (szlam, glina) lub też mogą dostać się przez nieszczelności i mogą być bardzo rozproszone, o cząstkach wielkości nawet w zakresie od 1 do 100 nm.

Substancjami rozpraszającymi osady są polimery używane do ochrony przed osadami poprzez usuwanie cząstek organicznych (tzn. mikroosadów i warstwy szlamu) z powierzchni wymiennika ciepła na zasadzie wzrostu ładunku elektrycznego w wyniku absorpcji. Cząstki odpychają się nawzajem i w rezultacie pozostają w stanie zawieszenia. Dla ułatwienia penetracji biocydów w warstwie mikroosadów i szlamów, często można stosować substancje do rozpraszania osadów biologicznych. Substancje rozpraszające osady pozwalają na utrzymanie czystych powierzchni wymienników ciepła, zmniejszając tym samym ryzyko wystąpienia korozji. W powszechnej praktyce stosuje się biocydy w połączeniu z substancjami rozpraszającymi osady, jako składnik czynny, w ilości od 1 do 10 mg/l.

### 10.3.2 Zastosowanie inhibitorów osadów

Najbardziej efektywne i rozpowszechnione jest stosowanie jako substancji rozpraszających osady polimerów anionowych o małej masie cząsteczkowej. Do najważniejszych substancji rozpraszających osady należą: sulfoniany organiczne i metaliczne, fenolany metali, dialkile metali, dwutiofosfanaty, dwualkilowe siarkowe bursztyniany sodu, alkil polietylenowy i aminy acykliczne oraz monoetanolaminowe sole fosforanowe, poliakryle, polimetaakryle i akryle na bazie polimerów.

## 10.4 Biocydy

### 10.4.1 Bioosady

Wciąganie organizmów przez wodę lub powietrze może powodować powstawanie bioosadów. Bioosady występują w postaci dwóch głównych typów: makroosady (np. drobne małże) i mikroosady (np. bakterie, grzyby, glony).

**Makroosady** są zasadniczo ograniczone do **systemów z przepływem jednorazowym** i są bardziej dotkliwe w przypadku wody morskiej i zasolonej niż słodkiej. Makroosady mogą czasami całkowicie zablokować przepływ w rurach i kanałach, mogą powodować korozję zwaną korozją erozyjną. Występowanie makroosadów w znacznym stopniu zależy od miejsca w instalacji oraz od jakości wody, zarówno pod względem ilości, jak i zróżnicowania gatunkowego.

**Mikroosady** stanowią problem zarówno w **systemie z przepływem jednorazowym, jak i w układzie otwartym z recyrkulacją**. Mikroorganizmy rozwijają się na wilgotnych powierzchniach, doprowadzając do tworzenia się biowarstwy. W wyniku niekontrolowanego wzrostu mikroorganizmów, na powierzchniach narasta szlam. Składnik biologiczny lub biowarstwa jest produkowana przez żywe komórki i przez produkty ich metabolizmu. Mikroosady są zawsze pierwotnymi kolonizatorami na powierzchniach w rozwoju bioosadów.

Dominującym efektem bioosadów jest zmniejszenie wydajności wymiany ciepła w wymiennikach ciepła i straty energii spowodowane wzrostem oporów przepływu. Ponadto, w miejscu powstawania mikroosadów na powierzchni metalu może występować korozja. Dodatkowo, składniki mikrobiologiczne mogą zagrażać zdrowiu ludzkiemu poprzez rozprzestrzenianie się z wież chłodniczych.

Możliwe jest zastosowanie znacznej liczby rozwiązań technicznych i oddziaływań przeciwosadowych. Ich zastosowanie, typ wody chłodzącej i związane z nią problemy zostały zestawione w tabeli V.1.

**Tabela V.1: Przegląd osadów i organizmów blokujących oraz poziom osadów w wodzie morskiej, słonawej i słodkiej. W ostatniej kolumnie podano sposoby działań przeciwosadowych**

(Poziom osadów jest oznaczony jako: + mały; ++ średni; +++ wysoki)

(według: Hydroekologia Stosowana 10, 1-2, 1998)

Kraj	Typ wody chłodzącej, w połączeniu z osadami, zatykaniem i usuwaniem			Główne zabiegi zmniejszenia osadów
	Morska	Słonawa	Słodka	
Belgia		Stułbiopław + Szlam ++	Szlam ++ Racicznica + Małże azjatyckie+ Mszywioly ++ Brzuchonogi ++ W wieżach chłodniczych: osadzanie kamienia ++	<b>Woda słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Okresowe chlorowanie podchlorynem
Dania	Małże + Szlam +	Patrz woda morska	Nie stosowane	<b>Woda morska:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Nietoksyczna powłoka przeciwosadowa.
Francja	Małże +++ Pąkle ++ Zatykanie przez: Agrest morski (meduzy) +++ wodorosty +++	Osady: nie ma specjalnych problemów z powodu dużego zróżnicowania w zasoleniu ujścia rzek. Zatykanie przez dryfujące makrofity +	Racicznica ++ Mszywioly ++ Glony ++ Brzuchonogi++ Małże azjatyckie + W wieżach chłodniczych: osadzanie kamienia ++	<b>Woda morska:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza ścieralnymi kulkami z gąbki (niektóre jednostki). Ciągłe chlorowanie niskimi dawkami (0,5-1,0 mg/L), z elektrochlorowaniem <b>Woda słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Chlorowanie wstrząsowe raz lub dwa razy do roku
Niemcy			Racicznica + Szlam ++ W wieżach chłodniczych: osadzanie kamienia ++	<b>Woda słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Okresowe chlorowanie podchlorynem. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , ozon
Irlandia	Małże + Szlam + Zatykanie przez: ryby +++	Patrz morska woda	Racicznica	<b>Woda morska:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami. Ciągłe chlorowanie podchlorynem

**Tabela V.1 (cd.): Przegląd osadów i organizmów blokujących oraz poziom osadów w wodzie morskiej, zasolonej i świeżej. W ostatniej kolumnie podano sposoby działań przeciwosadowych**

(Poziom osadów jest oznaczony jako: + mały; ++ średni; +++ wysoki)

(według: Hydroekologia Stosowana 10, 1-2, 1998)

Kraj	Typ wody chłodzącej, w połączeniu z osadami, zatykaniem i usuwaniem			Główne zabiegi zmniejszenia osadów
	Morska	Słonawa	Słodka	
Włochy	Małże +++ Hydroidy ++ Robaki kanałowe ++ Pąkle ++ Szlam ++ Zatykanie przez: wodorosty + Posidonia +	(tylko jedna stacja) Zatykanie przez: wodorosty + gruz +	Racicznica Szlam ++ Zatykanie przez: dryfujące rośliny, liście +	<b>Woda morska:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza ściernymi kulkami z gąbki. Ciągłe lub okresowe chlorowanie podchlorynem, lub elektrochlorowanie. <b>Woda słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Okresowe chlorowanie (w kilku przypadkach)
Holandia	Małże +++ Szlam ++ Zatykanie przez: meduzy +++ ryby ++	Małże ++ Szlam + Zatykanie przez: ryby +	Racicznica + Szlam ++ Zatykanie przez: ryby ++	<b>Woda morska i słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Uzdatnianie termiczne. Ciągłe lub nieciągłe chlorowanie podchlorynem
Norwegia			Elektrownie wodne: tylko problemy z migrującymi rybami.	
Portugalia	Małże ++ Szlam +		Małże azjatyckie +	<b>Woda morska:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza ściernymi kulkami z gąbki (niektóre jednostki). Ciągłe chlorowanie małymi dawkami (0.5-1.0 mg/L), elektrochlorowanie <b>Woda słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki.

Hiszpania	Szlam + Robaki kanałowe + Małże ++ Ostrygi +		Szlam ++ W wieżach chłodniczych: osadzanie kamienia ++	<b>Woda morska i słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Okresowe chlorowanie małymi i wstrząsowymi dawkami podchlorynu i elektrochlorowanie
Wielka Brytania	Pąkle + Małże ++ Szlam ++ Zatykanie przez: ryby +++ wodorosty ++ meduzy +	Patrz woda morska	Szlam ++ W wieżach chłodniczych: osadzanie kamienia ++	<b>Woda morska i słodka:</b> Filtracja wody, filtry piaskowe. Ciągłe czyszczenie skraplacza kulkami z gąbki. Ciągłe chlorowanie (w zimie okresowe) podchlorynem i elektrochlorowanie

#### 10.4.2 Stosowane uzdatnianie biocydami

Do zwalczania bioosadów w przemysłowych, otwartych, mokrych systemach chłodniczych do wody chłodzącej dodaje się biocydy. Na temat biocydów, ich stosowania i efektów powstało szereg badań i znaczna ilość publikacji.

Biocydy są substancjami, które spowalniają przyrost mikrobiologiczny w wodzie chłodzącej, redukują całkowitą liczbę komórek w wodzie zasilającej i osłabiają stabilność struktury biowarstwy, przez co minimalizują zanieczyszczenia organiczne w systemach chłodniczych. W przyroście mikrobiologicznym zawiera się rozwój bakterii, glonów i grzybów oraz rozwój takich makroorganizmów, jak ostrygi, skorupiaki i małże.

Generalnie, biocydy dzieli się na utleniające i nieutleniające. Biocydy utleniające mają specyficzny sposób działania, który ogranicza rozwój organizmów tworzących osady. Biocydy nieutleniające są bardziej selektywne i bardziej złożone w działaniu i stąd potrzebują dłuższego czasu reakcji, niż biocydy utleniające.

Wpływ biocydów na środowisko związany jest z ich toksycznością. Substancje antymikrobiologiczne stosowane w systemach chłodniczych są związkami szybko rozkładającymi się w wodzie, przez to zmniejszają potencjalne zagrożenia dla środowiska. Ten chemiczny rozkład jest często związany ze zmniejszeniem ilości składników toksycznych. Taki związek może być dodany do instalacji wody chłodzącej, gdzie wspomaga działanie niszczące mikroby w instalacji, a następnie rozkłada się na mniej toksyczne substancje.

Zużycie biocydów jest zależne od systemu chłodzenia, rodzaju wody (słodka lub słona), pory roku i przecieku organicznych substancji z procesu i przerw w pracy. W **systemach z przepływem jednorazowym** stosowane są prawie wyłącznie biocydy. Zwykle są to biocydy utleniające, takie jak podchloryny lub pochodne sole kwasu podbromowego.

W **otwartych systemach chłodniczych z recyrkulacją** w zasadzie stosowane są wyłącznie biocydy utleniające lub ich połączenie z nie-utleniającymi. Zużycie biocydów nie-utleniających i innych ewentualnych składników jest całkowicie określone przez recyrkulujący wodny system chłodzący. Poza tym zaobserwowano, że w niektórych zamkniętych systemach z recyrkulacją w ogóle nie dodawano biocydów.

W tabeli V.2 podano ilości i rodzaje biocydów stosowanych w kilku państwach UE.

### 10.4.3 Biocydy utleniające

Biocydy utleniające, stosowane zwykle w przemysłowych systemach chłodniczych, są to chlorowce, chlorany i bromiany w fazie ciekłej i gazowej, organiczne donory chlorowców, dwutlenek chloru i ozon, monochloramina i nadtlarki. W przypadku wody morskiej rośnie zainteresowanie zastosowaniem dwutlenku chloru, ze względu na jego skuteczność i zredukowane powstawanie węglowodorów bromowych (szczególnie bromoformu, chlorodwubromometanu, bromodwuchlorometanu i dwubromoacetocyanoków) i tróchlorometanów (THM) porównywalnych z podchlorynami, ale z drugiej strony, produkuje on jony  $\text{ClO}_3^-$ .

Chlor gazowy ( $\text{Cl}_2$ ) jest również stosowany w kilku miejscach, ponieważ jest zwarty i tani, ale powstaje zagrożenie, gdy składowany jest w dużych ilościach; oprócz tego pojawiają się trudności z transportem.

Podchloryn sodu jest biocydem utleniającym, zwykle stosowanym w dużych systemach z przepływem jednorazowym. Może być wytwarzany na terenach nadmorskich przez elektrolizę wody morskiej. Proces ten, nazywany elektrochlorowaniem, pozwala na uniknięcie transportu i składowania niebezpiecznego chloru gazowego lub roztworów chlorowych.

Zużycie podchlorynu sodu jako składnika aktywnego jest niższe w systemach z wodą słoną, niż ze słodką, ponieważ w wodzie słodkiej jest wyższy poziom substancji organicznych rozpuszczonych i w postaci zawiesiny. Z powodu wyższej zawartości bromków, tworzenie chlorowcopochodnych substancji organicznych w wodzie morskiej jest niższe, niż w słodkiej (rzecznej), ale nie ma publikacji mogących to potwierdzić.

**Tabela V.2: Określone poziomy zużycia zwykle używanych, utleniających biocydów w kilku państwach UE. (kg/rok) (KEMA, 1996)**

Grupa	Biocydy utleniające	Zjednoczone Królestwo WB i IP (1993) <sup>2</sup>	Holandia (1995) <sup>3</sup>	Francja (1998)
Na bazie chloru	Podchloryn sodu	731000 <sup>1,5</sup>	1800000 <sup>4</sup>	817000 <sup>6</sup>
	Dwuchloroizocyjanuran sodu	19300		
	Dwutlenek chloru	13000		
Na bazie bromu	Bromek sodu	356000	22500	
	1-bromo-3-chloro-5,5-dwumetylhydantoid (BCDMH)	286000	1000	
Inne	Nadtlenek wodoru	910		
	Kwas nadoctowy	975		



Uwagi:

<sup>1</sup> oszacowane użycie jako składnika aktywnego, (dla wyrobu gotowego zużycie jest znacznie większe)

<sup>2</sup> we wszystkich wodnych systemach chłodniczych

<sup>3</sup> tylko w układach z recyrkulacją

<sup>4</sup> zmierzony jako Cl<sub>2</sub>

<sup>5</sup> wartość szacowana zbyt nisko, gdyż w Wielkiej Brytanii elektro-chlorowanie jest stosowane najczęściej w elektrowniach na wybrzeżu

<sup>6</sup> jako Cl<sub>2</sub> produkowany przez elektro-chlorowanie w elektrowniach na paliwo stałe

Powyższe aktualne jest również dla systemów chłodniczych wykorzystujących bardzo zanieczyszczoną wodę z basenów portowych. Często zaleca się niewielkie chlorowanie ciągłe, chociaż chlorowanie nieciągłe lub przerywane jest stosowane coraz częściej, mimo że wymaga to bardziej intensywnego monitoringu układu chłodniczego i instalacji wody chłodzącej.

Z dwóch rozwiązań: z chlorem gazowym i z roztworem podchlorynu sodu, bardziej aktywny chemicznie jest niezdisocjowany kwas podchlorynowy. Jest to bardzo reaktywny czynnik utleniający, reagujący z większością organicznych substancji zawartych w wodzie i tworzący trójchlorometan (THM), chloroform (3-5%) i inne organiczne związki chlorowcopochodne. Wolny chlor może reagować z amoniakiem tworząc chloraminy lub różne rozpuszczalne związki organiczne, tworzące różne typy organicznych składników chlorowcopochodnych (jak THM, chlorofenole). Zdarza się to również w samych systemach chłodniczych i zanim zaspokoi się pierwsze zapotrzebowanie na chlor, szczątkowy chlor może działać jako biocyd

Zastosowanie utleniających biocydów kwasu podbromawego (HOBr) może być alternatywą dla podchlorynu. Kwas podbromawy pozostaje niezdisocjowany przy wyższych wartościach pH niż kwas podchlorynowy. Oznacza to, że dla wartości pH 8 i wyższych wolny utleniacz HOBr jest bardziej efektywnym biocydem niż zdisocjowany jon podchlorynowy OCl<sup>-</sup>. W konsekwencji, w zasadowej wodzie słodkiej, efektywna dawka podbromianu może być znacznie niższa, niż równoważna jej dawka podchlorynu. Chociaż podbromiany organiczne są 2-3-krotnie bardziej toksyczne, niż odpowiadające im odpowiedniki chlorowe, szybciej się rozkładają i przy niższym zapotrzebowaniu mogą przynieść znaczne korzyści środowiskowe. Jednakże w wodzie morskiej utlenianie jonów bromkowych przez podchloryny prowadzi do szybkiego tworzenia podbromianów, a chlorowanie wody morskiej jest prawie równoważne bromowaniu i w związku z tym korzyść ekologiczna opcji podbromawej w porównaniu z podchlorynową może być nieznaczna.

Bromek i podchloryn sodu, chloramina i nadtlenki są stosowane razem w układach z recyrkulacją, przyczyniając się do powstawania mniejszej ilości substancji niebezpiecznych dla środowiska. Wadą tego uzdatniania mogą być wysokie stężenia roztworów z wolnymi utleniaczami (FO), mogących tworzyć rakotwórcze bromiany. Innym możliwym sposobem może być ozonowanie wody naturalnej poprzez utlenianie jonów bromianowych.

Zawartość bromików zależy od stężenia bromianów w słonej wodzie wykorzystanej do produkcji podchlorynu sodu. Teoretyczne maksymalne stężenie bromianów (BrO<sub>3</sub><sup>-</sup>) w rozpuszczonym podchlorynie sodu wytwarzanym podczas elektrolizy wody morskiej wynosi około 100 mg/l lub 3 mg na 1 g chloru. Szeroki zakres stężeń bromków można znaleźć w dostępnych w handlu roztworach podchlorynowych. Jeżeli do produkcji chloru stosuje się stężone solanki, to stężenie mieści się w granicach od 0,15 do 4,0 mg BrO<sub>3</sub><sup>-</sup> na 1 g chloru.

#### 10.4.4 Biocydy nieutleniające

Biocydy nieutleniające są substancjami reagującymi stosunkowo wolno, które reagują z odpowiednimi fragmentami komórek lub reakcja następuje w komórce. Do powszechnie stosowanych biocydów nieutleniających zalicza się następujące: 2,2-dwubromo-3-nitripropionamid (DBNPA), aldehyd glutarowy, poczwórny składnik amonowy (QAC), izotiazolony, dwufenole chlorowcopochodne i tiokarbaminiany, ale na rynku europejskim istnieje wiele innych stosowanych z różną częstotliwością odmian biocydów. W tabeli V.3 podano wskazania dotyczące zużycia niektórych biocydów nieutleniających.

Zastosowanie biocydów nieutleniających zamiast utleniających jest polecane tylko w przypadkach, gdy biocydy utleniające nie mogą zapewnić wystarczającej ochrony, jak np. w systemach z wysokim obciążeniem organicznym lub w mokrych systemach chłodniczych z recyrkulacją, gdzie codzienna kontrola nie jest praktykowana. W dużych mokrych systemach chłodzenia z recyrkulacją, gdzie przeważnie stosuje się podchloryn sodu, czasami przewidziany jest stały monitoring do zapewnienia właściwego poziomu wolnych utleniaczy dostępnych w obiegu. Dla wielu mniejszych mokrych systemów chłodzenia z recyrkulacją, również i tych pracujących w firmach wodociągowych, nie posiadających personelu stałego, preferuje się stosowanie biocydów nieutleniających zamiast utleniających, ponieważ te pierwsze mają mniejszy wpływ na jakość wody [tm005, Van Donk and Jenner, 1996].

Biocydy nieutleniające są głównie stosowane w otwartych systemach chłodniczych z odparowaniem i recyrkulacją. Ogólnie są one stosowane w wodnych systemach chłodniczych, aby dodać do wody aktywny składnik o stężeniu od około 0,5 ppm do 50 ppm (wyjątkowo 100 ppm).

Biocydy nieutleniające wywierają wpływ na mikroorganizmy poprzez reakcję z pewnymi elementami składowymi komórek lub reakcję w samych komórkach. Pierwsza reakcja powoduje uszkodzenie błony komórkowej, a druga zakłóca mechanizm biochemiczny produkcji energii lub wykorzystania energii przez komórki.

Poczwórne związki amonowe są cząsteczkami kationowymi aktywnymi powierzchniowo. Uszkadzają one błony komórkowe bakterii, grzybów i glonów, zwiększając tym samym przepuszczalność ścianek komórek poprzez pozbawianie ich protein i w efekcie prowadząc do obumierania komórek. Izotiazolony działają nietypowo, gdyż zakłócają syntezę wewnątrzkomórkową. Spośród innych biocydów, szerokie zastosowanie przeciwbakteryjne i przeciwgrzybowe ma dwu(tio)cyjanian metylenu (MBT). Wiąże on nieodwracalnie biomolekuły zapobiegając reakcjom redukcji i utleniania. Aldehyd glutarowy jest stosowany przeciw bakteriom aerobowym i anerobowym, a jego działanie biocydalne jest oparte na sieciowaniu protein.

**Tabela V.3: Szacunkowe poziomy zużycia powszechnie stosowanych biocydów nieutleniających w niektórych Państwach Członkowskich (w kg/rok) (KEMA, 1996)**

Grupa	Nieutleniające biocydy	Zjednoczone Królestwo WB i IP (1993) <sup>2</sup>	Holandia (1995) <sup>3</sup>	Francja (1998)
QAC	Dwumetylo cocobenzyl Chlorek amonu	23400 <sup>1</sup>		
	Związki Bezyloalkonium ammonium	21400		
	Łącznie QAC szacunkowo	71152		
Izotiazoliny	5-chloro-2-metyl-4-izotiazolin-3-one	13200		
	Izotiazoliny łącznie	18000	1500	
	Dwufenole chlorowcopochodne (dwuchlorofen+fentichlor)	12150		
	Tiokarbaminian	56800		
Inne	Aldehyd glutarowy	56400	750	
	Tetraalkyl fosfonium chlorek	9500		
	2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide	17200	800	
	Methylene(bis)thiocyanate (MBT)	2270	1450	
	$\beta$ -bromo- $\beta$ -nitrostyren (BNS)	231	1950	
	Aminy tłuszczowe			20000 <sup>4</sup>
	Inne	4412		
	Łączny szacunek	234963	6450	
Uwagi: <sup>1</sup> szacowane zużycie jako składnik aktywny (jako wyrażony produkt w ilości znacznie wyższej) <sup>2</sup> we wszystkich wodnych systemach chłodniczych <sup>3</sup> tylko w systemach z recyrkulacją <sup>4</sup> aktywny produkt używany w nadmorskich elektrowniach na paliwa stałe				

#### 10.4.5 Czynniki określające stosowanie biocydów. [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

Następujące czynniki związane są ze stosowaniem biocydów, ale równie dobrze mogą być wykorzystane dla innych dodatków.

- Skuteczność

Oczywistą sprawą jest fakt, że biocydy powinny być skuteczne w określonych sytuacjach, w których są stosowane. Jednakże istotne jest uświadomienie sobie, że jeżeli dany biocyd jest skuteczny w jednym systemie, to nie musi być skuteczny w innym, nawet jeżeli te systemy są pozornie identyczne. Jednym z powodów tego może być rozwój populacji mikroorganizmów. Zdarza się to rzadziej w przypadku biocydów utleniających, niż biocydów nieutleniających.

- Typ systemu

Typ systemu określa sposób sterowania hydraulicznego wody chłodzącej w mokrych systemach chłodniczych, a tym samym czas kontaktu między biocydem i wodą chłodzącą. W mokrym systemie chłodniczym z przepływem jednorazowym, gdzie czasy przebywania są krótkie, stosowane są w zasadzie szybko reagujące biocydy utleniające. Współcześnie, jeżeli są stosowane biocydy, to w Holandii, w systemach z przepływem jednorazowym stosuje się podchloryn sodu. Wolniej reagujące biocydy nieutleniające są obecnie stosowane tylko w mokrych systemach chłodniczych z recyrkulacją. W większości (> 90%) wodnych systemów chłodzenia uzdatnianie wody jest oparte na NaOCl, Cl<sub>2</sub>, lub NaOCl/NaBr.

Typ procesu jest ważnym czynnikiem przy wyborze biocydu, szczególnie, gdy weźmie się pod uwagę reaktywność niektórych biocydów z płynami procesowymi, rozpuszczonymi w wodzie chłodzącej. Niektóre procesy, jak bezpośrednie chłodzenie metali w hutnictwie, wymagają specjalnych warunków dla wody chłodzącej. Płyny procesowe dostające się do wody chłodzącej mogą stanowić pożywkę dla wzrostu biologicznego.

- Jakość wody

Chemiczna i biologiczna jakość wody wpływa na wybór programu uzdatniania wody chłodzącej i w ten sposób na wybór biocydów. Występowanie organizmów tworzących makroosady jest ściśle związane z jakością wody. Zasadniczo mówi się, że poprawa jakości wody powierzchniowej pod względem biologicznym może spowodować wzrost występowania makroosadów w mokrych systemach chłodniczych.

Dla mikroorganizmów typ wody nie odgrywa znaczącej roli w określaniu ich typu. Teoretycznie wartość pH równa w przybliżeniu 7 jest optymalna dla wzrostu mikrobiologicznego. Odczyn kwaśny sprzyja grzybom, a wartości pH powyżej 8 redukują rozwój glonów. Jednakże w praktyce mikroorganizmy przejawiają wysokie przystosowanie do warunków i mogą osadzać się w różnych systemach. Ilustracją tego jest powszechna opinia, że grzyby wolą dla swojego wzrostu media kwaśne i obojętne, a mogą być wspierane przez bakterie w środowisku zasadowym. Jest to zasadniczo prawdą, ale jeżeli system poddawany jest uzdatnianiu bakteriocydami bez oddziaływania przeciwgrzybowego, to skażenie sporami grzybowymi spowoduje kolonizację także przy wartości pH 9.

W układach z przepływem jednorazowym wartość pH wewnątrz systemu chłodzenia ma tę samą wartość co woda opuszczająca system, mimo że dawkowanie podchlorynu sodu może nieznacznie podnosić wartość pH, ale jest to zwykle niemożliwe do zmierzenia. W systemach otwartych z odparowaniem i z recyrkulacją, wartość pH jest często regulowana, (w granicach od 7 do 9), przez dodawanie kwasów (często kwasu siarkowego) lub zasad (często wodorotlenku sodu) lub w wyniku alkaliczności naturalnej.

Przy zastosowaniu podchlorynu sodu i podbromianu sodu jako biocydów dobrze wiadomo, że wartość pH silnie wpływa na równowagę pomiędzy kwasem hypohalowym (HOX) i jonami hypohalowymi. Kwasy hypohalowe (HOX) są w przybliżeniu stukrotnie bardziej toksyczne

niż ich formy anionowe. Stąd teoretycznie wartość pH będzie wpływać na toksyczność na przykład dawki podchlorynu.

W praktyce, nie można wpłynąć na wartość pH w **systemach z przepływem jednorazowym**. Woda słodka w systemach z przepływem jednorazowym ma wartość  $\text{pH} = 7 - 8$ ; woda morska chłodząca systemy ma w przybliżeniu wartość pH równą około 8. Wspomniana wyżej równowaga jest więc bardziej istotna dla efektywności uzdatniania wody w systemach z przepływem jednorazowym, gdzie czas przebywania wody chłodzącej – i zatem czas kontaktu biocydu z organizmami – w systemie chłodzącym jest względnie krótki.

**Systemy mokre z recyrkulacją** zasadniczo pracują przy wartościach pH w zakresie 7 – 9. Doświadczenie w przemyśle chemicznym pokazało, że systemy z recyrkulacją, pracujące przy wartości pH 9 zużywają mniej podchlorynu, niż systemy pracujące przy niższych wartościach pH, bez spadku skuteczności uzdatniania wody. Dalsza droga podchlorynu sodu w systemach z recyrkulacją jest dogłębnie studiowana. Główny wniosek z tego jest taki, że 5 – 10% dawkowanego podchlorynu jest tracone w wieży, gdy pracuje ona przy wartości pH 8,5, podczas gdy przy wartości pH niższej od 7 straty wynoszą 30 – 40%.

Wyjaśnione jest to tym, że aniony podchlorynu nie mogą być usunięte z wieży chłodniczej. Jest to odwrotnie niż w przypadku kwasu hypohalowego (HOX). Prowadzi to do wniosku, że dawka podchlorynu o wartości pH 9 jest równoważnie skuteczna, pomimo faktu, że tylko (1 – 5%) jest obecne w formie kwasu, ponieważ kwas hypohalowy (HOX) natychmiast będzie usunięty z obecnych nadwyżek w formie anionów. Ogólny wniosek jest taki, że w systemach z recyrkulacją pracujących przy wyższych wartościach pH zmniejszy ilość podchlorynu wymaganego do skutecznej kontroli poziomu mikroosadów.

Temperatura powierzchni wpływa na rozwój organizmów morskich, może zatem być czynnikiem przy wyborze programu uzdatniania wody w systemach chłodniczych z przepływem jednorazowym. Makroosady w systemach z przepływem jednorazowym w Holandii nie przyrastają gwałtownie podczas zimy. W związku z tym dozowanie biocydów nie jest konieczne, gdy temperatura wody jest niższa niż  $12^{\circ}\text{C}$ . W zakładach z systemami o przepływie jednorazowym na wybrzeżu śródziemnomorskim, gdzie ma miejsce znaczny rozwój makroosadów przez cały rok, dozowanie biocydów odbywa się przez cały rok. Na ogół temperatura wody będzie miała wielki wpływ na różnorodność gatunków, stopień wzrostu i na zapotrzebowanie na biocydy. W systemach z przepływem jednorazowym przyrost temperatury wody ( $\Delta T$ ) wynosi  $8-12^{\circ}\text{C}$  i ograniczony jest przez maksymalną temperaturę zrzutu. Systemy z recyrkulacją mają te same ograniczenia co do zrzutu, chociaż czasami dopuszczalne są wyższe temperatury zrzutu. Temperatura wody krążącej może wynosić  $20-30^{\circ}\text{C}$  i więcej. Większość składników makroosadów w Holandii nie toleruje długotrwałego narażenia na temperaturę  $30^{\circ}\text{C}$ , ale niektóre gatunki, jak małże słonowodne, w tych temperaturach bardzo szybko rosną.

Dla **systemów z recyrkulacją**, o wysokich czynnikach koncentracji, najważniejsza jest twardość wody wlotowej i ilość substancji organicznych, ponieważ ma to wpływ na wymaganą ilość inhibitorów kamienia i korozji. W obydwóch systemach, tj. z przepływem jednorazowym i z recyrkulacją ilość substancji organicznych (rozpuszczonych i zawieszonych związków stałych) w wodzie chłodzącej jest istotna, ponieważ ma wpływ na wymaganą ilość biocydów. Należy zwrócić uwagę na działanie różnych biocydów (np. podchloryn będzie reagował z amoniakiem, dwutlenek chloru nie). Generalnie, właściwym rozwiązaniem jest redukcja do minimum wszystkich substancji, które prowadzą do zwiększenia zapotrzebowania na biocydy.

### 10.4.6 Wzajemne oddziaływanie z innymi substancjami chemicznymi do uzdatniania wody

Inne dodatki, jak inhibitory kamienia i korozji, mogą często wpływać na wybór odpowiedniego biocydu. Niektóre biocydy ograniczają nawzajem swoją skuteczność, ale mogą przynosić również wzajemne korzyści:

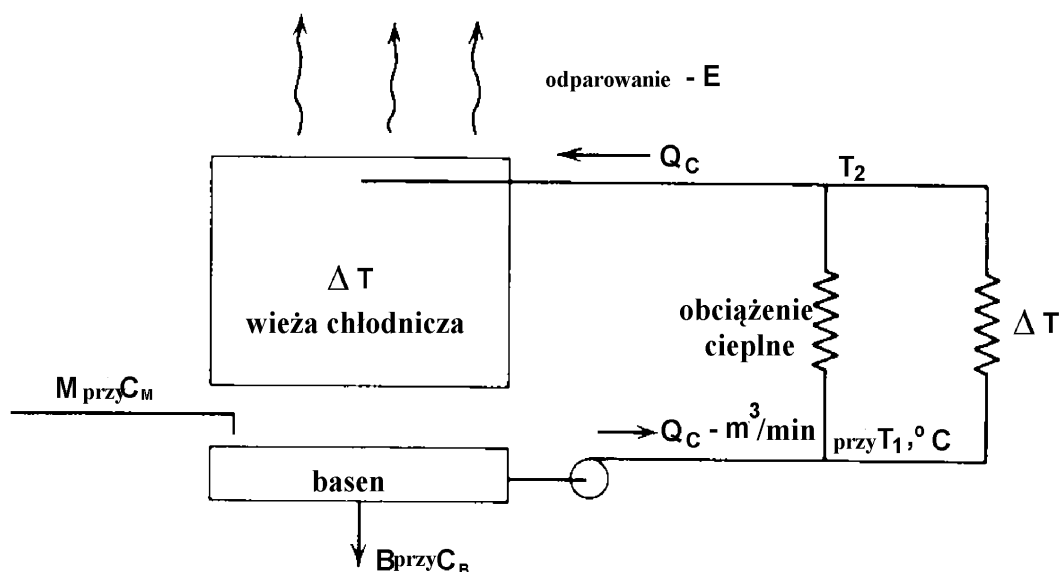
Na przykład:

- QAC są znane z tego, że są częściowo neutralizowane przez biocydy utleniające i anionowe czynniki rozpraszające;
- izotiazolony, z drugiej strony, są stabilizowane przez podchloryn sodu;
- ozon, jako silny utleniacz, będzie utleniał pewną ilość innych dodatków w wodzie chłodzącej, co stanowi szczególny problem dla inhibitorów korozji, tak że często należy stosować wraz z ozonem, dla ochrony instalacji, pewne substancje towarzyszące.

### 10.5 Cykle stężenia i bilans wody

Zastosowanie dodatków w otwartych wieżach chłodniczych z odparowaniem jest skomplikowane i w dużym stopniu powiązane z bilansem wody i z cyklami stężenia, przy których system pracuje. Ważną miarą poprawy bilansu cząstek stałych jest odpływ wody, który odgrywa rolę w optymalizacji działania systemów chłodniczych oraz w uzdatnianiu wody chłodzącej. Krótkie objaśnienie zasady odpływu wody przedstawiono poniżej na rysunku V.1.

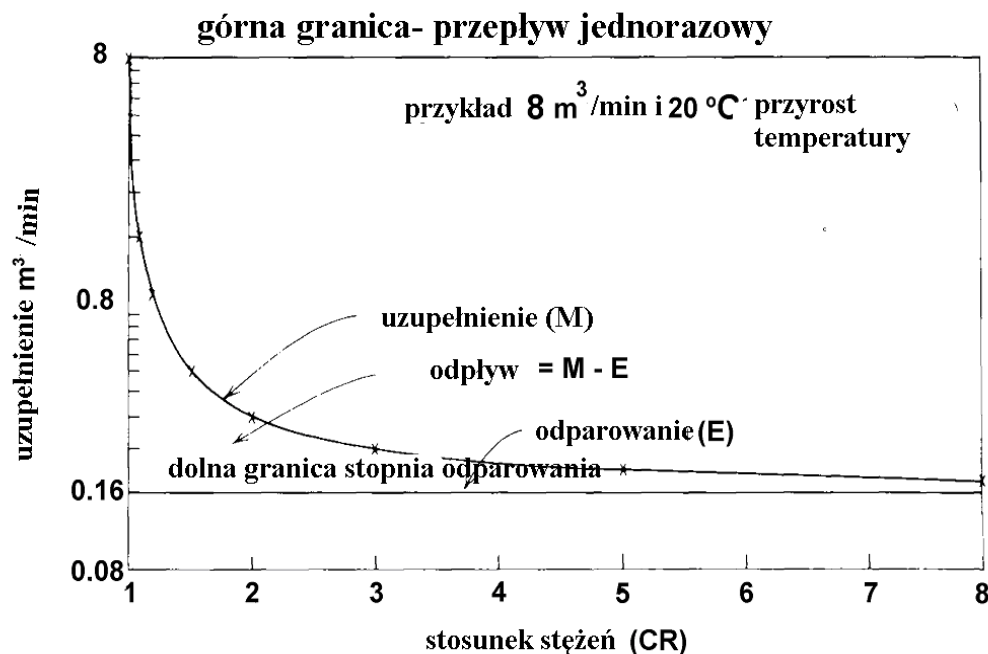
Ilość wody chłodzącej ( $Q_c$ ) krążącej w systemie podaje się w  $m^3/min$ . Woda chłodząca przepływająca przez wymiennik ciepła jest schładzana w wieży chłodniczej na drodze odparowania i konwekcji. Odparowanie ( $E$ ), wciąganie kropelek wody przez powietrze i straty przez nieszczelności zmniejszają ilość wody chłodzącej w obiegu i w konsekwencji wzrasta stężenie soli w wodzie, co może prowadzić do osadzania kamienia i korozji.



Rysunek V.1: Wieża i bilans cząstek stałych dla systemu chłodzenia z odparowaniem, wykorzystującego wieżę chłodniczą [tm135, Anonymous, 1998]



Zmiany stężenia są zbilansowane przez wyciek wody z układu (B o stężeniu  $C_b$ ) i kompensowane przez dodawanie wody uzupełniającej (M o stężeniu  $C_m$ ). W bilansie wykorzystano stosunek stężeń (CR):  $CR = M/B = C_b/C_m$  (ponieważ  $M \times C_m = B \times C_b$ ).



**Rysunek V.2: Zmniejszenie strumienia wody uzupełniającej w zależności od stężenia, w systemie chłodzenia z odparowaniem [tm135, Nalco, 1988]**

$M = E + B$ , więc  $CR = (E + B)/B = E/B + 1$  i z tego równania wynika:

$$B = E / (CR - 1)$$

*Jest to równanie bardzo użyteczne dla uzdatniania wody chłodzącej. Po określeniu cykli stężenia w oparciu o wartości stężenia w wodzie uzupełniającej i odpływającej, można obliczyć aktualny odpływ stanowiący stratę systemu lub też odpływ wymagany dla utrzymania pracy przy żądanej liczbie cykli.*



## 11 ZAŁĄCZNIK PRZYKŁAD USTAWY OBOWIĄZUJĄCEJ W PAŃSTWACH CZŁONKOWSKICH UNII EUROPEJSKIEJ

Poniższy tekst załączony został celem przedstawienia przykładu ustawy dotyczącej redukcji emisji zanieczyszczeń pochodzących z systemów chłodniczych, którą z powodzeniem wprowadzono w Europie.

**Ogólne Przepisy Administracyjne z dnia 31 stycznia 1994**  
**Poprawka do**  
**Ogólnych administracyjnych ramowych przepisów dotyczących**  
**minimalnych wymagań dla zrzutu ścieków do wód**  
(obecnie, sierpień 2000, poprawiane)

Wyjątek z

**Załącznik 31: Uzdatnianie wody, systemy chłodnicze, wytwarzanie pary**

### 1 Zakres

- 1.1 Woda odpadowa, w której zawarte zanieczyszczenia pochodzą głównie z procesu uzdatniania wody w przemysłowych systemach chłodniczych.

### 2 Wymagania

Konieczne jest przestrzeganie poniższych wymagań związanych z emisją wody odpadowej. Wymagania w kwestii chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT), azotu jako sumy amonu, azotanu i azotu azotanowego, fosforanów nieorganicznych oraz substancji podlegających filtrowaniu opierają się na ogólnie znanych zasadach technicznych. Pozostałe wymagania mają się opierać na zasadach najlepszej dostępnej technologii.

Wymagania te nie mają zastosowania przy dziennej emisji wody odpadowej na poziomie 0,5 m<sup>3</sup>.

#### 2.1 Wymagania ogólne

Woda odpadowa nie może zawierać - z wyjątkiem fosfonianów i polikarboksylatów - jakichkolwiek organicznych czynników kompleksujących, które trudno ulegają biodegradacji zgodnie z podstawowym poziomem wymagań ujętych w Ustawie o substancjach chemicznych, określającej skłonność do biodegradacji według zaleceń OECD 301A – 301 E z maja 1981.

Woda odpadowa nie może zawierać: związków chromu, związków rtęci, azotanu, związków metaloorganicznych (związki metali i węgla) lub mercaptobenzothiazolu, pochodzących z używanych zasobów operacyjnych lub pomocniczych.

Wymagania podane w pierwszym i drugim ustępie będą uważane za spełnione, jeśli wyszczególnione substancje nie będą używane, w dzienniku operacyjnym

wymienione zostaną wszystkie wykorzystane zasoby operacyjne i pomocnicze, oraz gdy będą dostępne informacje wytwórcy, pokazujące, że tych substancji nie ma w zasobach operacyjnych i pomocniczych ani też nie istnieje możliwość ich powstawania w zadanych warunkach pracy.

## 2.3 Wymagania dla wody odpadowej z systemów chłodzenia

### 2.3.1 Woda z układów jednaprzepływowych lub systemów chłodzenia z otwartym wypływem na wodę słodką

Wymagania po uzdatnieniu szokowym z zastosowaniem substancji mikrobiocydalnych powinny być następujące:

	Kwalifikowana próbka losowa lub 2-godzinna próbka złożona (mg/l)
Dwutlenek chloru, chlor i brom (wyszczególnione jako chlor)	0,2
Adsorbowalne chlorowce organiczne AOX	0,15

Mikrobiocydy inne niż woda utleniona i ozon nie mogą być obecne w ściekach. Wymagania te będą uważane za spełnione, jeśli wyszczególnione substancje nie będą używane, w dzienniku operacyjnym wymienione zostaną wszystkie wykorzystane zasoby operacyjne i pomocnicze, oraz gdy będą dostępne informacje wytwórcy, pokazujące, że tych substancji nie ma w zasobach operacyjnych i pomocniczych ani też nie istnieje możliwość ich powstawania w zadanych warunkach pracy.

### 2.3.2 Woda spustowa z pierwotnego obiegu chłodzenia elektrowni (woda spustowa z systemów z recyrkulacją)

	Próbka losowa (mg/l)
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	30
Związki fosforu <sup>6</sup> <i>Jeśli stosowane są tylko nieorganiczne związki fosforu, to wartość parametru fosforu wzrasta do 3 mg/l</i>	1,5

Wymagania po szokowym uzdatnieniu z zastosowaniem substancjami mikrobiocydalnymi są następujące:

	Próbka losowa (mg/l)
Adsorbowane organiczne chlorowce	0,15
Dwutlenek chloru, chlor i brom (wyrażony jako chlor)	0,3
Toksyczność dla bakterii luminescencyjnej T <sub>B</sub>	12

<sup>6</sup> Określenie w oryginalnej próbce według normy DIN 38406 – E22 (wydanie z marca 1988) lub równoważny pomiar i sposób analizy.

Wymagania dotyczące toksyczności bakterii luminescencyjnych będą uważane za spełnione, jeśli obieg spustowy będzie zamknięty aż wartość  $T_B$  równa 12 lub mniej zostanie osiągnięta zgodnie z informacją wytwórcy o wstępnym stężeniu i zachowaniu biodegradacji jest będzie to udowodnione zapisem w dzienniku operacyjnym.

Związki cynku pochodzące ze środków służących obróbki wody nie mogą być obecne w ściekach. Te wymagania uważane będą za spełnione, jeśli wszystkie operacyjne i pomocnicze zasoby zostaną zawarte w dzienniku operacyjnym oraz dostępne będą informacje wytwórcy, które pokazują, że użyte związki do kondycjonowania wody nie zawierają związków cynku.

### 2.3.3 Ścieki ze spustu z innych systemów chłodzenia

	Próbka losowa (mg/l)
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) <i>Wartość parametru ChZT wzrasta do 80 mg/l po czyszczeniu z pomocą środków dyspergujących</i>	40
Związki fosforu jako fosfor, całkowite <sup>2</sup> <i>Wartość parametru fosforu wzrasta do 4 mg/l, jeśli tylko zastosowano związki do kondycjonowania wody, które nie zawierają cynku. Wzrasta do 5 mg/l, jeśli zastosowano związki do kondycjonowania wody zawierające tylko nieorganiczne związki fosforu</i>	3
Cynk	4
Adsorbowalne organiczne chlorowce	0,15

Wymagania po szokowym uzdatnianiu z zastosowaniem substancjami mikrobiocydalnymi są następujące:

	Próbka losowa (mg/l)
Dwutlenek chloru, chlor i brom (wyrażony jako chlor)	0,3
Adsorbowane organiczne chlorowce	0,5
Toksyczność dla bakterii luminescencyjnej $T_B$	12

Wymagania dotyczące toksyczności bakterii luminescencyjnych będą uważane za spełnione, jeśli obieg spustowy będzie zamknięty aż wartość  $T_B$  równa 12 lub mniej zostanie osiągnięta zgodnie z informacją wytwórcy o wstępnym stężeniu i zachowaniu biodegradacji jest będzie to udowodnione zapisem w dzienniku operacyjnym.

2.5 W przypadku odstożników wszystkie wartości odpowiadają próbce losowej. Tutaj wartości te odnoszą się do jakości wody przed opróżnieniem

<sup>2</sup> Określenie w oryginalnej próbce według normy DIN 38406 – E22 (wydanie z marca 1988) lub równoważny pomiar i sposób analizy.

- 2.6** Zgodność z wymaganiami w punkcie 2.3 dla parametru ChZT może być także sprawdzona poprzez określenie całkowitej wartości węgla organicznego (CWO). W takim przypadku, wartość ChZT musi być zastąpiona trzykrotną wartością CWO określoną w mg/l.

## 12 ZAŁĄCZNIK PRZYKŁAD KONCEPCJI BEZPIECZEŃSTWA DLA OTWARTYCH MOKRYCH UKŁADÓW CHŁODNICZYCH (KONCEPCJA VCI - ZWIĄZKU PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO W NIEMCZECH)

### 12.1 Wstęp do koncepcji

Ta koncepcja bezpieczeństwa została opracowana, aby zapewnić wytyczne dla ochrony wód przed okresowymi zrzutami, poprzez wieżę chłodniczą, substancji (procesowych) powodujących długoterminowe szkodliwe zmiany w zbiornikach wodnych. Koncepcja precyzuje metody monitorowania i zamiany w odniesieniu do układów z przepływem jednorazowym oraz układów alternatywnych do nich, jako funkcji trwałości zanieczyszczenia wody przez substancje, które mogą się przedostawać do wody chłodzącej.

Zdolność substancji do powodowania znacznych długoterminowych szkodliwych zmian lub ryzyka dla zbiorników wodnych, może być określona na podstawie określeń-R ustanowionych przez prawodawstwo europejskie dla substancji niebezpiecznych. Dla każdego określenia - R związanego z ochroną zasobów środowiska wodnego, jak również zdrowia ludzkiego i gleby, przyznawana jest pewna punktacja. Zaprezentowano ją w tabeli poniżej. Punktację wszystkich określeń - R przypisanych do danej substancji dodaje się w celu uzyskania ogólnego wyniku. Jest on następnie łączony z wymaganym pomiarem bezpieczeństwa obejmującym zanieczyszczoną wodę chłodzącą. Decyzje związane z wdrażaniem tych metod i stosowanych technologii mogą być podejmowane tylko w poszczególnych firmach i w oparciu o znajomość konkretnych warunków.

Zalecane jest stosowanie tej koncepcji niezwłocznie przy budowie nowych zakładów i modernizacja istniejących systemów chłodzenia, jeśli nie spełniają one tych wymagań, w ciągu:

- 5 lat dla substancji o punktacji  $\geq 9$ ,
- 8 lat dla substancji o punktacji od 0 do 8.

Dla substancji o całkowitej punktacji  $\geq 5$  należy niezwłocznie podjąć zabiegi związane z monitorowaniem układów systemów przepływem jednorazowym, z uwzględnieniem wymagań indywidualnych przypadków.

Wymagania tej koncepcji bezpieczeństwa odnoszą się do wszystkich strumieni wody chłodzącej, które nie są podłączone do oczyszczalni w zakładzie przemysłowym lub do odpowiedniej [ogólnej] oczyszczalni wody. Wymagania dotyczą substancji z całkowitym wynikiem  $\leq 4$  nie odnoszą się do pośrednich emisji, które są podawane do zakładu uzdatniania ścieków.

Tabela.VII.1: Punktacja dla różnych określeń-R dla obliczenia całkowitego wyniku dla substancji

Punktacja	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ekotoksyczność i degradacja/bioakumulacja				52/53		51/53		50/53	
Ekotoksyczność i/lub degradacja/bioakumulacja n.y.d.				* 3)		* 2)		* 1)	
Ekotoksyczność			52			50			
Ekotoksyczność n.y.d.						*			
Degradacja/bioakumulacja			53						
Degradacja i/lub bioakumulacja n.y.d.			*						
Ostra toksyczność dla ssaków(ostra toksyczność ustna preferowana)	22 20/22 21/22 20/21/2 2 21 20/21 65		25 23/25 24/25 23/24/2 5 24 23/24			28 26/28 27/28 26/27/28 27 26/27			
Ostra toksyczność dla ssaków n.y.d.					*				
Rakotwórczość i/lub mutagenność		40							45 i/lub 46
Wpływ nieodwracalny		40/21 40/22 40/20/22 40/21/22 40/20/21/2 2		39 39/24 39/25 39/23/25 39/24/25 39/23/24/2 5		39/27 39/28 39/26/28 39/27/28 39/26/27/2 8			
Powtarzająca się ekspozycja		33 48 48/21 48/22 48/20/22 48/21/22 48/20/21/2 2		48/24 48/25 48/23/25 48/24/25 48/23/24/2 5					
Toksyczność reprodukcyjna		62 i/lub 63		60 i/lub 61					
Niebezpieczne reakcje z wodą			29 15/29						

Legenda do tabeli VII.1:

- n.y.d. = Atrybuty jeszcze nieustalone (testowane lub znane)  
 \* = Wynik w przypadku, jeśli jakikolwiek z atrybutów: „ekotoksyczność”, „degradacja/bioakumulacja” i „ostra toksyczność” nie był testowany lub jest nieznyany
- Przypis 1) - Ekotoksyczność i degradacja i/lub bioakumulacja n.y.d lub ekotoksyczność n.y.d. i nie udowodniona łatwa degradacja  
 - Ekotoksyczność n.y.d. i potencjał bioakumulacji dostępne lub sklasyfikowane do R 50 i degradacja i/lub bioakumulacja jeszcze nieokreślone
- Przypis 2) - Ekotoksyczność  $>1$  i  $\leq 10$  mg/l i degradacja jeszcze nieokreślone
- Przypis 3) - Ekotoksyczność  $>10$  i  $\leq 100$  mg/l i degradacja jeszcze nieokreślone
- Przypis 4) - Patrz załącznik 2 opis określeń-R

## 12.2 Wymagania koncepcji

Wymagania nałożone na system chłodzenia są określone poprzez możliwie najwyższą ilość punktów dla substancji, które mogą znaleźć się w wodzie chłodzącej. Wymagania są zestawione w poniższej tabeli.

**Tabela VII.2: Wymagania koncepcji bezpieczeństwa VCI dla technologii chłodzenia**

Wynik: 0 punktów	Wynik: 1 -4 punkty	Wynik: 5 -8 punktów	Wynik: $\geq 9$ punktów
(D1+A1)	(D1+A1+U1)	(D1+A2+U1) (D2+A1+U1)	(D3+A2+U1)/ (D2+A2+U2)/ (Z)(E)/(K)/ (L)/(S)
../.. opcje alternatywne			

D1, A1 i U1 są zawsze zamienne przez wyższe metody D2 (lub D3), A2 i U2.

Kody użyte w tabeli mają następujące znaczenie:

- D1 Układy z przepływem jednorazowym  
 D2 Układ z przepływem jednorazowym, w którym ciśnienie wody chłodzącej jest utrzymywane na odpowiednio kontrolowanym poziomie powyżej ciśnienia procesu (ciśnienie wody chłodzącej nie powinno być niższe od ciśnienia procesu w żadnym punkcie instalacji, również dla procesów hydraulicznych)  
 D3 Układ z przepływem jednorazowym z chłodnicą wykonaną z wysokiej jakości materiałów antykorozyjnych i okresowymi przeglądami  
 Z Gromadzenie pośrednie z analitycznym sterowaniem poprzedzającym wyrzut  
 E Chłodzenie poprzez pierwotny/wtórny obieg (rozsprężanie)  
 K Chłodzenie obiegowe przez układy dochłodzenia  
 L Układy powietrznego chłodzenia  
 S Specjalne systemy chłodzenia (np. pompy ciepła, chłodzenie absorpcyjne, systemy sprężania pary, przetworniki ciepła)
- A1 Obliczeniowy lub inny równoważny system monitoringu wody chłodzącej  
 A2 Automatyczny analityczny monitoring wody chłodzącej (według załącznika)  
 U1 Niezwłoczna zmiana wyrzutu wody chłodzącej do posiadanych odstojników lub oczyszczalni pod warunkiem, że oczyszczalnia taka jest odpowiednia dla usuwania wypuszczonych substancji, lub niezwłoczna zmiana na rezerwowy system chłodzenia; wyłączenie danej części zakładu produkcyjnego  
 U2 Automatyczna zmiana wyrzutu wody chłodzącej do posiadanych odstojników lub oczyszczalni pod warunkiem, że oczyszczalnia taka jest odpowiednia dla usuwania wypuszczonych substancji, lub niezwłoczna zmiana na rezerwowy system chłodzenia; wyłączenie danej części zakładu produkcyjnego

## 12.3 Załącznik 1 – Automatyczny analityczny monitoring układów z jednorazowym przepływem



Automatyczne analityczne systemy są właściwe dla monitorowania układów z przepływem jednorazowym, jeżeli wyciek może być wystarczająco bezpiecznie i szybko zlokalizowany. W takiej sytuacji wystarcza, że system analityczny dostarcza danych o zmianach parametrów. Dla takich systemów pomiar stężenia absolutnego nie jest konieczny, wystarcza zwykła detekcja wahań od stanów normalnych.

Pomiar może być prowadzony bezpośrednio przez czujniki umieszczone w strumieniu wody chłodzącej lub poprzez próbkowanie półciągle na zewnątrz strumienia wody chłodzącej.

Na rynku dostępne są odpowiednie urządzenia do takiego automatycznego monitorowania i analizy parametrów w układach z przepływem jednorazowym. Przy wyborze systemu należy wziąć pod uwagę, że niezawodność systemu jest znacznie ważniejsza niż wzrost jego dokładności.

Wybór właściwego systemu jest uwarunkowany przez substancje uwalniane w wyniku wycieku i jest to ponadto w znacznym stopniu uzależnione od specyficznych okoliczności w każdym przypadku. W związku z tym po pierwsze powinno się sprawdzić, czy system automatycznego analitycznego monitorowania może być prowadzony za pomocą parametru lub metody analizy wymienionej na liście nr 1 poniżej. Gdy okaże się to niemożliwe, należy sprawdzić możliwość zastosowania systemów z listy nr 2.

- Lista 1:
- wartość PH
  - przewodność
  - potencjał redoks
  - mętność
  - refraktometria
  - fotometria
  - urządzenia ostrzegawcze przed zaolejeniem
  - urządzenia ostrzegawcze przed pienieniem
  - monitory rtęci

- Lista 2:
- zawartość węgla (TC – total carbon)
  - zawartość węgla organicznego (TOC – total organic carbon)
  - rozpuszczony węgiel organiczny (DOC – dissolved organic carbon)
  - substancje usuwane poprzez FID (czujnik jonizacji płomienia)
  - kombinacja TOC/FID
  - usuwane składniki chloro-organiczne
  - mierniki toksyczności bakterii

## 12.4 Załącznik 2 – określenia-R użyte do wyznaczenia punktacji VCI

**Tabela VII.3 Opis określeń-R użytych do wyznaczenia punktacji-VCI dla systemów chłodzenia**

R 20/21	Szkodliwy poprzez wdychanie i w kontakcie ze skórą
R 20/21/22	Szkodliwy poprzez wdychanie, w kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 20/22	Szkodliwy poprzez wdychanie i przy połknięciu
R 21	Szkodliwy przy kontakcie ze skórą
R 21/22	Szkodliwy przy kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 22	Szkodliwy przy połknięciu
R 23/24	Toksyczny przy wdychaniu i przy kontakcie ze skórą
R 23/24/25	Toksyczny przy wdychaniu, kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 23/25	Toksyczny przy wdychaniu i przy połknięciu
R 24	Toksyczny przy kontakcie ze skórą

R 24/25	Toksyczny przy kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 25	Toksyczny przy połknięciu
R 26/27	Bardzo toksyczny przy wdychaniu i przy kontakcie ze skórą
R 26/27/28	Bardzo toksyczny przy wdychaniu, kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 26/28	Bardzo toksyczny przy wdychaniu i przy połknięciu
R 27	Bardzo toksyczny przy kontakcie ze skórą
R 27/28	Bardzo toksyczny przy kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 28	Bardzo toksyczny przy połknięciu
R 29	Kontakt z wodą uwalnia toksyczne gazy
R 33	Niebezpieczeństwo efektu kumulacyjnego
R 39	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków
R 39/24	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy kontakcie ze skórą
R 39/25	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy połknięciu
R 39/23/25	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy wdychaniu i przy połknięciu
R 39/24/25	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 39/23/24/25	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy wdychaniu, kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 39/27	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy kontakcie ze skórą
R 39/28	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy połknięciu
R 39/26/28	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy wdychaniu i przy połknięciu
R 39/27/28	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 39/26/27/28	Niebezpieczeństwo bardzo poważnych nieodwracalnych skutków przy wdychaniu, kontakcie ze skórą i przy połknięciu
R 40	Możliwe ryzyko nieodwracalnych skutków
R 40/21	Szkodliwy: możliwe ryzyko nieodwracalnych skutków przy kontakcie ze skórą
R 40/22	Szkodliwy: możliwe ryzyko nieodwracalnych skutków przy połknięciu
R 40/20/22	Szkodliwy: możliwe ryzyko nieodwracalnych skutków przy wdychaniu i połknięciu
R 40/21/22	Szkodliwy: możliwe ryzyko nieodwracalnych skutków przy kontakcie ze skórą i połknięciu
R 40/20/21/22	Szkodliwy: możliwe ryzyko nieodwracalnych skutków przy wdychaniu, kontakcie ze skórą i połknięciu
R 44	Możliwość wybuchu przy podgrzaniu w zamkniętym pomieszczeniu
R 45	Może powodować nowotwory

R 48	Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości
R 48/21	Szkodliwy: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez kontakt ze skórą
R 48/22	Szkodliwy: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez połknięcie
R 48/20/22	Szkodliwy: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez wdychanie i połknięcie
R 48/21/22	Szkodliwy: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez kontakt ze skórą i połknięcie
R 48/20/21/22	Szkodliwy: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez wdychanie, kontakt ze skórą i połknięcie
R 48/24	Toksyczny: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez kontakt ze skórą
R 48/25	Toksyczny: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez połknięcie
R 48/23/25	Toksyczny: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez wdychanie i połknięcie
R 48/24/25	Toksyczny: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez kontakt ze skórą i połknięcie
R 48/23/24/25	Toksyczny: Niebezpieczeństwo poważnych szkód na zdrowiu przy długotrwałej styczości poprzez wdychanie, kontakt ze skórą i połknięcie
R 50	Bardzo toksyczny dla organizmów wodnych
R 51	Toksyczny dla organizmów wodnych
R 52	Szkodliwy dla organizmów wodnych
R 53	Może powodować długoterminowe zmiany w środowisku wodnym
R 60	Może pogarszać płodność
R 61	Może powodować szkody dla nienarodzonego dziecka
R 62	Możliwość ryzyka pogorszenia płodności
R 63	Możliwość ryzyka szkody dla nienarodzonego dziecka
R 65	Szkodliwy: może powodować uszkodzenia płuc przy połknięciu
R 15/29	Kontakt z wodą wyzwała toksyczny, bardzo palny gaz

## 13 ZAŁĄCZNIK PRZYKŁADY OCENY ŚRODKÓW CHEMICZNYCH ZAWARTYCH W WODZIE CHŁODZĄCEJ

### 13.1 Pojęcie porównawczej oceny środków chemicznych zawartych w wodzie chłodzącej

#### 13.1.1 Wprowadzenie

##### Informacje ogólne

Powszechnie wiadomo, że dokument referencyjny BREF dla chłodzenia ma charakter „poziomy” i że niemożliwe jest ustalenie najlepszej dostępnej techniki BAT w przypadku chłodzenia, gdyż w zbyt dużym stopniu zależy ono od konkretnego procesu poddawanego chłodzeniu i jego lokalizacji (głównie klimat, zasoby wodne, itp.).

Z tego powodu niniejszy dokument referencyjny BREF musi stanowić „narzędzie”, które pomoże władzom Państw Członkowskich przy określaniu dostępnych opcji i przy wyborze optymalnego układu chłodzenia (pod względem sprzętu i „warunków pracy”), który będzie stanowił BAT dla celów uzyskania pozwolenia IPPC.

Po pierwsze, określanie „wyposażenia zakładu” będzie miało miejsce głównie w przypadku budowy nowego obiektu, jak również przy wymianie i modernizacji systemów istniejących.

Po drugie, należy zwrócić baczną uwagę na „warunki pracy” zarówno w istniejących, jak i nowych instalacjach. Kluczowym elementem tych „warunków” jest optymalizacja systemu chłodzenia pod względem sprawności i trwałości zakładu przez stosowanie środków chemicznych. W celu uzyskania pozwolenia, konieczne będzie podjęcie decyzji optymalizujących dotyczących rodzaju zastosowanych środków chemicznych oraz ich ilości na podstawie BAT.

Techniczna grupa robocza TWG opracowała prostą metodę „porównawczą”, która pomoże Państwom Członkowskim porównywać różne środki chemiczne pod względem ich potencjalnego wpływu na środowisko. Bez takiego narzędzia, trudności powstające przy podejmowaniu takich decyzji mogłyby stanowić poważną przeszkodę w racjonalnym określeniu na poziomie lokalnym, co stanowi BAT dla systemów chłodzenia.

Jak opisano poniżej, większość głównych elementów potrzebnych do sformułowania narzędzia porównawczego w zakresie różnych zagrożeń jest już zawarta w prawie Wspólnoty i w oficjalnych dokumentach pomocniczych. Celem obecnych działań jest zgromadzenie elementów z: dyrektywy IPPC, ramowej dyrektywy wodnej (*Water Framework Directive*) i prawodawstwa dotyczącego oceny ryzyka (*Risk Assessment*) wraz z wspierającym je „dokumentem doradztwa technicznego” (*Technical Guidance Document*) w spójny sposób, tak aby stworzyć narzędzie pomocne w ocenie środków chemicznych używanych w procesach chłodzenia.

### 13.1.1.1 Podstawa

W trakcie wcześniejszych spotkań Techniczna Grupa Robocza ustaliła wspólnie, że każda ocena środków chemicznych w wodzie chłodzącej powinna uwzględniać zarówno właściwości specyficzne, jak i charakterystykę sytuacji lokalnej (podejście z uwzględnieniem ryzyka).

Stworzona koncepcja oceny porównawczej powstała z uwzględnieniem obecnie istniejących programów i metodologii oceny. Ma ona stanowić punkt wyjścia dla właściwego rozpatrzenia specyficznych właściwości i sytuacji lokalnej podczas oceny różnych możliwych metod uzdatniania.

Koncepcja oceny nie polega na omawianiu podejścia do specyficznych zagrożeń (*Intrinsic Hazard Approach*), ale koncentruje się na wytłumaczeniu i objaśnieniu procedury porównawczej.

Koncentruje się ona na poszczególnych substancjach, dając krótkie wskazówki, jak metoda może zostać rozszerzona dla potrzeb pełnego wieloskładnikowego uzdatniania chemicznego.

Ponadto omówiony został wyłącznie najbardziej skomplikowany (i najczęstszy) przypadek otwartych systemów z recyrkulacją (systemy chłodzenia z wieżą wyparną) z możliwością późniejszej rozbudowy do systemów z jednorazowym przepływem, systemów z obiegiem zamkniętym, itd.

### 13.1.1.2 Odpowiednie podstawowy ustawodawcze

Nie ma potrzeby omawiać tutaj szczegółowo wymagań prawnych, które doprowadziły do powstania dokumentów referencyjnych BAT. Wystarczy wymienić art. 16 ust. 2 dyrektyw IPPC o wymianie informacji, inicjatywę Komisji w sprawie stworzenia, przez instytucję Forum Wymiany Informacji (*Information Exchange Forum*), narzędzia, które powinno pomagać władzom Państw Członkowskich w ustalaniu granicznych wartości emisji (ELV – *Emission Limit Values*) dla zakładów objętych IPPC.

Należy jednak podkreślić jeden z kluczowych aspektów tej dyrektywy, a mianowicie: kontrolę emisji i ich wpływu na środowisko poprzez „połączoną” metodę BAT, która pozwala na ustalenie granicznych wartości emisji stanowiących normy jakości środowiska.

W tym kontekście bardzo istotna jest również mająca być wkrótce wprowadzona ramowa dyrektywa wodna (WFD).

Chociaż może się zdarzyć, że właściwa ocena wpływu uzdatniania chemicznego stosowanego w systemach chłodzenia będzie wymagała oceny wpływu na całe środowisko, to jednak główne obawy związane z użyciem tych środków chemicznych dotyczą podstawowego „odbiorcy” substancji zanieczyszczających, czyli środowiska wodnego.

Niezbędne jest zatem krótkie omówienie odpowiednich części dyrektywy WFD.

### 13.1.1.3 Ramowa dyrektywa wodna (WFD)

Mimo, że zakres dyrektywy WFD znacznie wykracza poza ustalenie elementów dla zapobiegania i kontroli emisji z przemysłowych zakładów objętych IPPC, to w rzeczywistości zawiera ona jedno kluczowe ogniwo łączące ją z dyrektywą IPPC. Dyrektywa WFD ustala bowiem metody i procedury, dzięki którym Komisja może ustalić „listę priorytetową” niebezpiecznych substancji i zaproponować nadzór nad ich emisją oraz wyznaczyć normy EQS (środowiskowe normy jakości lub „normy jakości”), które mają być przyjęte przez Radę i Parlament Europejski.

Ponadto daje ona Państwom Członkowskim prawo, a zarazem nakłada na nie obowiązek ustalenia norm jakości dla wszelkich innych substancji oddziałujących w dorzeczu dowolnej rzeki, co przyczyni się do osiągnięcia celów dyrektywy.

Co więcej dyrektywa ta wprowadza w załączniku prostą procedurę, która ma być stosowana przez władze Państw Członkowskich, w celu wyznaczenia norm jakości (EQS) dla substancji chemicznych w wodzie (załącznik V rozdział 1.2.6).

Innymi słowy dokument ten spełnia jedno z wymagań dyrektywy IPPC, a mianowicie wdraża zintegrowane podejście: określa metody i procedury wyznaczania norm jakości.

Według tekstu dyrektywy WFD (załącznik V rozdział 1.2.6) Państwa Członkowskie mają ustalić normy EQS w następujący sposób:

Metoda testu	Współczynnik bezpieczeństwa
Co najmniej jeden ostry L(E)C <sub>50</sub> z każdego z trzech poziomów troficznych zestawu bazowego	1000
Jeden chroniczny NOEC (każda ryba lub dafnia lub organizm reprezentatywny z wody słonej)	100
Dwa chroniczne NOEC z gatunków reprezentujących dwa poziomy troficzne (ryba i/lub dafnia lub organizm reprezentatywny z wody słonej i/lub alga)	50
Chroniczny NOEC z przynajmniej trzech gatunków (z reguły ryba, dafnia lub organizm reprezentatywny z wody słonej i alga) reprezentujących trzy poziomy troficzne	10
Inne przypadki, wliczając dane polowe model ekosystemu, który pozwala na zastosowanie bardziej precyzyjnych współczynników bezpieczeństwa	Ocena od przypadku do przypadku

Bardziej szczegółowa analiza znaczenia i konsekwencji danych zawartych w powyższej tabeli zostanie dokonana w dalszej części tego dokumentu, jednak teraz należy zwrócić uwagę na kilka kwestii:

- Normy jakości ustalone na tej podstawie uwzględniają wyłącznie ochronę systemu wodnego, bez rozważania pośredniego wpływu na człowieka,
- Liczby wynikające z powyższej tabeli informują o prognozowanym stężeniu niewywołującym niekorzystnych skutków (PNEC) (patrz dokument doradztwa technicznego do rozporządzenia 793/93/EWG)
- Komisja opracowała procedurę ustalania priorytetów opartą na systemie, w którym punkty za oddziaływanie na wodę są łączone z punktami za bioakumulację i oddziaływanie na człowieka. Procedura została zastosowana przez Komisję przy



sporządzaniu proponowanej listy substancji priorytetowych, które mają być kontrolowane na poziomie UE poprzez kontrolę emisji i normy EQS przyjęte na mocy ramowej dyrektywy wodnej (WFD).

Koncepcja oceny porównawczej także opiera się o powyższą metodę obliczania norm jakości. Wynika to z następujących przesłanek:

- w kontekście dokumentu referencyjnego BREF metoda musi być jasna, jednoznaczna, przejrzysta i łatwa do zastosowania,
- jest bardzo prawdopodobne że środowisko wodne jest najsłabszym ogniwem w łańcuchu, choć wykazanie tego może wymagać dużego nakładu pracy,
- metody porównawcze będą stosowane w połączeniu z prawodawstwem chemicznym Unii Europejskiej (specyficzne zagrożenia), które w sposób dorozumiany zawiera ocenę potencjalnego pośredniego niekorzystnego wpływu (zarówno na środowisko wodne jak i na ludzi) poprzez włączenie bioakumulacji, właściwości CMT (kancerogenne, mutagenne, teratogenne), jak również oddziaływania chronicznego do klasyfikacji niebezpiecznych środków chemicznych.

Dyrektywa WFD wymaga od Państw Członkowskich ustanowienia norm EQS dla wód przeznaczonych do poboru wody pitnej: będzie to kolejny sposób na kontrolowanie obszaru, który może stanowić zagrożenie dla ludzkiego zdrowia.

### 13.1.2 Metoda porównawcza: wprowadzenie do koncepcji

Ocena porównawcza polega na porównywaniu kolejnych substancji przy wykorzystaniu znormalizowanego teoretycznego pomiaru prognozowanego stężenia w środowisku (*Predicted Environmental Concentration*) (dalej zwanego  $PEC_{znormalizowane}$ ).  $PEC_{znormalizowane}$  jest porównywane z odpowiadającym mu prognozowanym stężeniem niewywołującym niekorzystnych skutków (*Predicted No Effect Concentration*) (PNEC) lub normą EQS danej substancji, ustaloną zgodnie z metodą zawartą w załączniku V do ramowej dyrektywy wodnej. W ten sposób można obliczyć ilość każdej substancji, co pozwoli ustalić wstępny ranking substancji pod względem ich potencjalnego wpływu na środowisko.

Mimo że pojęcia PNEC i PEC weszły obecnie do języka ustaw w kontekście prawa o emisjach, a ich znaczenie będzie powszechnie znane, to należy je w tym miejscu wyjaśnić, gdyż dotyczą one procedury porównawczej.

#### 13.1.2.1 PNEC

Procedura porównawcza nie jest próbą uszeregowania środków chemicznych wymienionych w samym dokumencie BREF.

Rzeczywista sytuacja jest bardzo skomplikowana z tego względu, że uzdatnianie chemiczne w systemach chłodzenia bardzo rzadko ogranicza się do pojedynczej substancji. Próba uszeregowania tych przypadków w dokumencie referencyjnym BREF wymagałaby zastosowania pewnego rodzaju procedury „dodawania” w odniesieniu do ogromnej listy możliwych kombinacji substancji do uzdatniania. Przy założeniu dostępności tych kombinacji, sporządzenie takiego zestawienia wymagałoby ogromnego nakładu pracy i czasu, a z dużą dozą prawdopodobieństwa nie byłoby ono ani kompletne, ani aktualne.



Dlatego też, celem niniejszej koncepcji oceny jest zaoferowanie standardowej metodologii oceny, a nie dokładny wyrażony w liczbach opis substancji lub uzdatniania.

Władze Państw Członkowskich mogą następnie zastosować tę metodologię w najbardziej odpowiednim stopniu na poziomie państwa lub na poziomie lokalnym.

Dane o toksyczności w środowisku wodnym muszą być dostępne oraz zostać udostępnione przez dostawców środków chemicznych w celu obliczenia PNEC. Jest to podstawowy aspekt jakiegokolwiek procedury porównawczej.

Warto wspomnieć, że również procedura z załącznika V, wraz z odpowiednimi tabelami, nie została wymyślona ostatnio przez Komisję w związku z dyrektywą WFD. W rzeczywistości metoda i tabela zostały po prostu zaczerpnięte z dokumentu doradztwa technicznego dotyczącego oceny ryzyka dla istniejących i nowych środków chemicznych. (Odpowiedni fragment jest załączony w rozdziale VII.1.6, załącznik I)

Właściwe wydaje się tu jedynie krótkie wyjaśnienie.

Im mniej jest dostępnych danych, tym wyższy należy zastosować współczynnik oceny dla konwersji danych toksykologicznych na PNEC.

Dostępność danych dotyczących długoterminowego działania zmniejsza ten współczynnik. Przechodząc przez różne sytuacje pośrednie, posiadając dane o długoterminowym działaniu dla trzech poziomów troficznych, można zastosować współczynnik wynoszący 10. Natomiast jeśli dysponuje się wyłącznie danymi o ostrej toksyczności, stosuje się współczynnik o wartości 1000. Koszty związane z wykonywaniem testów na długoterminowe działanie są znacznie wyższe niż koszty testów na ostrą toksyczność. Wynika z tego, że dostępność „danych ostrych” jest większa w porównaniu do długoterminowych danych toksykologicznych.

Gdy procedura porównawcza jest stosowana lokalnie, dostępne dane muszą być użyte z odpowiednim współczynnikiem oceny.

W tym przypadku dostawca środków chemicznych będzie musiał sam w odpowiednim momencie zdecydować czy zainwestować dodatkowe środki w uzyskanie danych o długoterminowym działaniu. Na przykład dla konkretnego zakładu może wystąpić konieczność użycia tylko danych o natychmiastowym (ostrym) działaniu (co oznacza uzyskanie normy EQS poprzez podzielenie LC50 przez „współczynnik bezpieczeństwa” 1000, by uwzględnić stopień niepewności), w związku z czym istnieje ryzyko powstania trudności ze spełnieniem surowych norm EQS. W tym przypadku dostawca może zdecydować się na uzyskanie „pewniejszych”, chociaż bardziej czasochłonnych i kosztownych danych o działaniu długoterminowym (chronicznym). „Dane chroniczne” oznaczają podzielenie rezultatów testu stężenia przez współczynnik bezpieczeństwa wynoszący jedynie 10, co będzie prowadziło do „pewniejszej” normy EQS i może być również bardziej osiągalne.

### 13.1.2.2 PEC

„Rzeczywiste” stężenie PEC w odniesieniu do używanych w systemach chłodzenia środków chemicznych, musi być postrzegane i definiowane jako końcowe stężenie środka chemicznego w wodach rzecznych, po wpuszczeniu i rozcieńczeniu w rzece w odpowiedniej odległości od miejsca zrzutu.

Kiedy w systemie chłodzenia stosowany jest określony środek chemiczny, podlega on zespołowi fizyko-chemicznych warunków, które określają jego los. Można tu przytoczyć następujący przykład:

awaria systemu chłodzenia z powodu hydrolizy lub fotolizy,

adsorpcja przez system,

rozdzielenie między wodę i powietrze,

trafienie do szlamu,

biodegradacja w samym systemie chłodzenia, w oczyszczalni (chemicznej/ biologicznej) i w rzece.

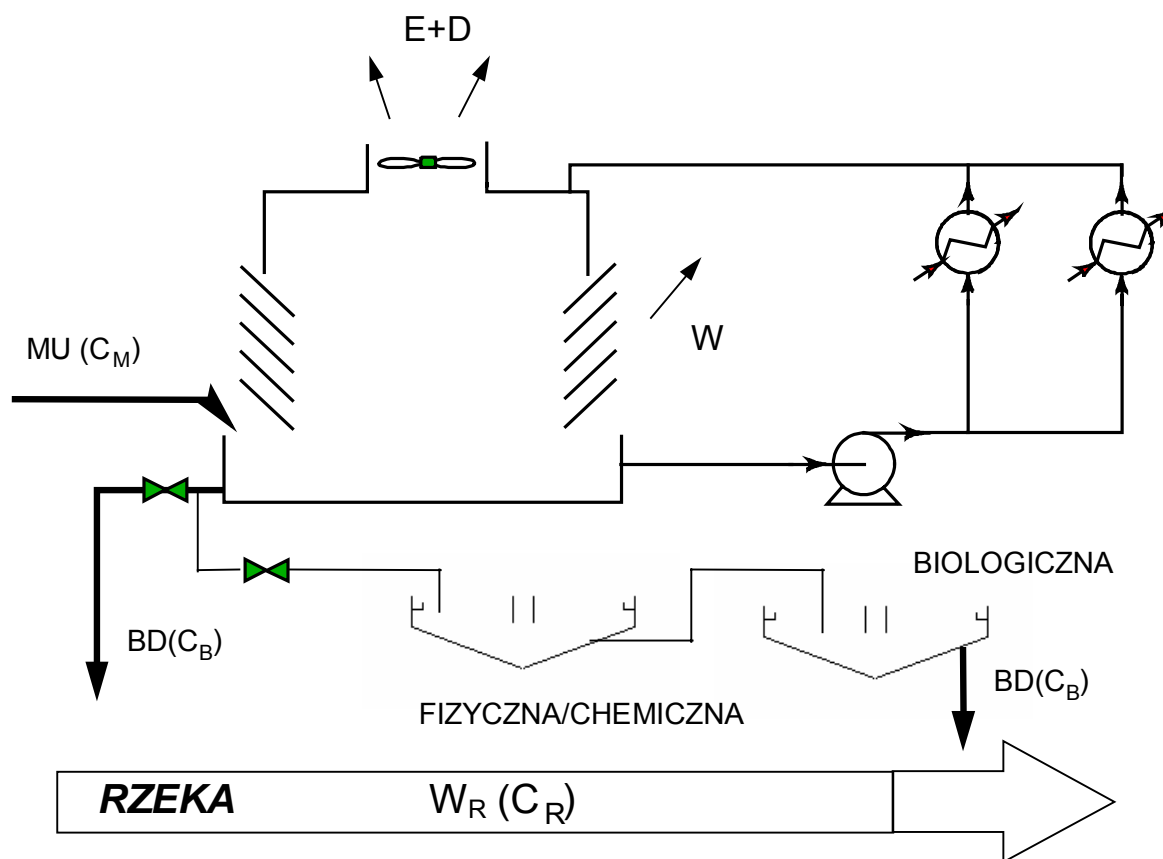
Część, która nie jest „stracona” trafi do rzeki i zostanie rozcieńczona poprzez płynącą wodę. Dokładna ocena ostatecznego stężenia PEC w rzece może mieć miejsce wyłącznie na poziomie lokalnym.

Dostępne są modele i algorytmy służące osiągnięciu tego celu, ale muszą one uwzględniać specyficzne warunki lokalne. Ostateczna wartość PEC będzie oczywiście zależała również od całkowitej ilości podawanych środków chemicznych, a ta jest z kolei uzależniona od rozmiarów systemu i warunków pracy (ilość cykli zagęszczania, wielkość zakładu, ilość ciepła do usunięcia).

Większa część następującej analizy będzie koncentrowała się na opisie prostej metody wyznaczenia „standardowego” stężenia PEC ( $PEC_{znormalizowane}$ ), które, mimo że nie jest w żaden sposób zbliżone do rzeczywistego stężenia PEC, pozwala na szybką wstępną porównawczą ocenę środków chemicznych. Należy podkreślić, że stężenie  $PEC_{znormalizowane}$  posiada ściśle określoną i bardzo ograniczoną wartość i może być wykorzystywane wyłącznie jako ogólny punkt odniesienia dla porównawczej oceny potencjalnego wpływu środków chemicznych.

### 13.1.3 Podstawowy bilans substancji w wieży chłodniczej

Na poniższym rysunku VIII.1. przedstawiono uproszczony szkic systemu wieży chłodniczej.



Rysunek VIII.1 Bilans substancji w wieży chłodniczej

### 13.1.3.1 Podstawowe równania wieży chłodniczej

- $MU$  : wielkość uzupełniania [ $m^3/\text{godzinę}$ ]  
 $BD$  : wielkość spustu [ $m^3/\text{godzinę}$ ]  
 $W$  : ilość wody porwanej przez „wiatr” (uwzględnia straty wciągania/porywania – „D”)  
 $E$  : ilość wyparowania [ $m^3/\text{godzinę}$ ]  
 $C_M$  : stężenie substancji w  $MU$   $mg/l - gr/m^3$ ,  
 $C_B$  : stężenie substancji w  $BD$   $mg/l - gr/m^3$ ,  
 $N_c$  : cykle zateżania  $C_B/C_M$

### 13.1.3.2 Bilans wody

$$MU = BD + E + W$$

### 13.1.3.3 Bilans mineralów

$$MU \times C_M = (BD + W) \times C_B$$

### 13.1.3.4 Stężenie

$$N_c = C_B/C_M = MU/BD + W$$

### 13.1.3.5 Omówienie

Woda wchodzi do systemu chłodzącego poprzez rurociąg uzupełniania. Woda musi być „uzupełniana”, by skompensować ubytki spowodowane parowaniem, wciąganiem przez powietrze i utratą przez spust. Ilość wody porywanej przez powietrze równa jest ilości wody, która w postaci kropelek ucieka z wieży. Zakłada się, że porywane kropelki przenoszą środki chemiczne w takim samym stężeniu jak woda spustowa.

Woda przepływając poprzez elementy systemu, pobiera z nich ciepło, które następnie jest odbierane w wieży chłodniczej poprzez odparowanie. Żadne środki chemiczne nie są przenoszone przez parującą wodę.

Współczynnik parowania „E” wynika z wymagań projektowych. By skompensować wodę odparowaną, porwaną (i straty przez spust wody - patrz poniżej) konieczne jest ciągłe uzupełnianie odpowiedniej ilości wody.

Woda uzupełniająca - studzienna lub powierzchniowa - zawiera rozpuszczone i zawieszone osady; ich stężenie i rodzaj różni się w zależności od przypadku. Część wody obiegowej musi być „upuszczana” (zrzucana), by uniknąć, wynikającego z odparowania, wzrostu stężenia substancji wejściowych powyżej wartości dopuszczalnych.

Należy ustalić ilość upuszczanej wody, w celu utrzymania w wodzie obiegowej optymalnego stężenia substancji, co pozwoli uniknąć, w połączeniu z właściwym uzdatnianiem chemicznym, osadzania i korozji.

Ilość wody upustowej jest ustalana podczas projektowania uzdatniania chemicznego i warunków pracy. W praktyce, zwłaszcza w starszych systemach, często upust nie może być kontrolowany. Wynika to, przynajmniej częściowo, z nieplanowanych strat wody z różnych elementów chłodzonych instalacji.

Liczba cykli zateżania jest to stosunek pomiędzy stężeniem substancji w wodzie upustowej i wodzie uzupełniającej. Na przykład, jeśli stężenie jonów wapnia w wodzie uzupełniającej wynosi 200 ppm a liczba cykli zateżania wynosi 2, to stężenia wapnia w wodzie obiegowej będzie równe 400ppm.

Powyższy bilans materiałów pokazuje, że liczba cykli zateżania jest równa stosunkowi  $MU/(BD+W)$ , a jeśli pominiemy „ucieczkę z powietrzem” to  $MU/BD$ .

Środki chemiczne są dodawane do systemów chłodzących albo w rurociągu uzupełniania (rzadko), albo do zbiornika wieży chłodniczej. Pewne stężenie środków chemicznych musi być „utrzymywane” w wodzie obiegowej, co oznacza właściwie, utrzymywanie go w wodzie spustowej. Wraz ze wzrostem liczby cykli, zmniejsza się ilość wody spustowej a warunki systemu stają się coraz surowsze; towarzyszy temu jednak również spadek ilości stale traconych środków chemicznych.

Ostatnie stwierdzenie jest prawdziwe poza sytuacją, kiedy pozwala się na coraz wyższe stężenie dozowanych substancji w wieży, co może wiązać się z koniecznością dostarczania większej ilości różnych środków chemicznych w celu utrzymania właściwej równowagi pomiędzy osadzaniem się i korozją w systemie.

W zasadzie jednak, żeby oszczędzać wodę i środki chemiczne (zużycie, koszty i wpływ na środowisko), należy dążyć do równowagi przy najwyższym możliwym poziomie liczby cykli zateżania.

Aby środki chemiczne do uzdatniania mogły spełniać swoją funkcję, należy „utrzymywać” pewne ich stężenie w wodzie obiegowej, a co za tym idzie i w wodzie spustowej.

Normalnie przy złożonym uzdatnianiu wieloma substancjami nakazuje się, aby poziom jednej łatwo mierzalnej substancji był kontrolowany i utrzymywany na poziomie zalecanym przez dostawców środków chemicznych. Wynika to z założenia, że stosunek pomiędzy różnymi środkami chemicznymi pozostaje niezmienny, niezależnie od różnych współczynników „strat” poszczególnych środków chemicznych w systemie.

Wynika to również z ważnego założenia, że jeśli stężenie środków chemicznych jest mierzone (jeden środek mierzony, reszta obliczana) w wodzie spustowej, uzyskana wartość odpowiada temu, co jest dostępne w systemie chłodzenia oraz że inne straty zostały już uwzględnione.

Innymi słowy, by ocenić wpływ środków chemicznych na środowisko wodne, wystarczy jedynie przewidzieć, co się będzie działo z substancjami chemicznymi, lub jakie zmiany stężenia będą miały miejsce po opuszczeniu końca linii spustu (oznacza to, że poprzednio wspomniane „straty” systemu i zmniejszenie stężenia w wyniku takich procesów jak hydroliza, adsorpcja, itp. zostały już wzięte pod uwagę).

Założenie to będzie wykorzystane w ocenie porównawczej.

#### 13.1.4 Obliczenie stężenia PEC i porównywanie

Zamieszczona poniżej tabela VIII.1 podsumowuje proste podejście zalecane przy porównywaniu pojedynczych substancji.

Sugerowane podejście zaczyna się od wyliczenia „rzeczywistego” stężenia  $PEC_{rzeki}$ , i podzielenia go przez odpowiednią wielkość EQS zaczerpniętą z dyrektywy WFD.

Tabela VIII.1 poniżej pokazuje w jaki sposób można obliczyć „rzeczywiste” stężenie PEC i jak poprzez kolejne przybliżenia można znormalizować / wystandaryzować szacunkowe stężenie PEC i dostosować te obliczenia do celów „porównawczych”. Jeśli współczynnik BD, przepływ w rzece i starty środków chemicznych są znane, to stężenie substancji w rzece wynika z bardzo prostego równania (1) przedstawionego w tabeli.

**Tabela VIII.1: Obliczenie stężenia PEC i porównywanie**

<p><math>PEC_{rzeki}/EQS</math> (EQS z ramowej dyrektywy wodnej)</p> <p><math>C_B</math> = Stężenie w wodzie spustowej gr/mc  <math>C_R</math> = Stężenie w rzece <math>gr/m^3 = PEC_{rzeki}</math>  <math>BD</math> = Wielkość upustu <math>m^3/godz</math>  <math>W_R</math> = Przepływ w rzece <math>m^3/godz</math>  <math>t</math> = (1 - %strat w wieży)  <math>w</math> = (1 - %strat w Zakładzie Uzdatniania Ścieków – WTP)  <math>R</math> = (1 - %strat w rzece)</p> <p>(1) <math>C_R = \frac{BD \times C_B \times (t) \times (w) \times (r)}{W_R}</math> Lokalna Ocena/Przewidywanie</p> <p><math>T = 1</math> <math>w = 1</math> <math>r = 1</math> <math>BD = 1</math>          Jeśli także <math>W_R = 1</math> otrzymujemy <math>C_B = C_R =</math> proporcjonalnie do PEC rzeki</p>
---

Równanie (1) ze wszystkimi znanymi lub obliczonymi elementami może być używane tylko dla oceny na poziomie lokalnym.

By ocenić straty w systemie chłodzenia w oczyszczalni ścieków i w samej rzece, potrzebnych jest wiele konkretnych danych dotyczących chemicznych i fizykochemicznych właściwości każdej substancji. Właściwości te obejmują lotność, biodegradację, współczynnik osadzania oraz dotyczą konkretnych warunków systemu, takich jak czas przebywania środków chemicznych w wieży (proporcjonalnie do stosunku pojemności systemu do współczynnika upustu), typ i wydajność oczyszczalni ścieków (chemicznej i biologicznej), czas przebywania w rzece po pierwszym zmieszaniu i wiele innych.

W porównawczym podejściu „zza biurka” dane te nie są osiągalne. Prowadzi to do uproszczeń i przybliżeń.

- Przede wszystkim zakłada się (patrz tabela VIII.1), że straty w systemie chłodzenia zostały już wzięte pod uwagę dzięki uwzględnieniu stężenia środków chemicznych w wodzie upustowej.  
Po wtóre zakłada się brak strat w oczyszczalni ścieków.
- Drugie założenie jest oczywiście nierealistyczne – traktuje ono wszystkie środki chemiczne jednakowo, niezależnie od tego czy są one tracone lub nie przez wytrącanie w zakładzie uzdatniania chemicznego bądź przez częściową lub całkowitą biodegradację w wyniku uzdatniania biologicznego. Można rozważyć wprowadzenie współczynnika korekcji dla środków chemicznych o różnych stopniach biodegradacji, ale spowoduje to także zróżnicowanie pomiędzy różnymi sytuacjami uzdatniania, które zależą od indywidualnego przypadku i lokalizacji.
- Po trzecie zakłada się, że żadne straty nie następują w rzece, co jest normalnym elementem oceny ryzyka.

Klucz do zaproponowanego podejścia porównawczego leży w następnym założeniu mówiącym, że współczynnik upustu, podobnie jak przepływ rzeki, jest równy 1.

Oznacza to, że wartość stężenia PEC została znormalizowana (tj.  $PEC_{znormalizowane}$ ) w celu umożliwienia porównania środków chemicznych, niezależnie od współczynnika upustu (wielkość zakładu i warunki pracy) i przepływu rzeki.

Oczywiście dla tego samego środka chemicznego stężenie PEC będzie wyższe w dużych zakładach z większym współczynnikiem upustu oraz w przypadku kiedy zakład emituje ścieki do małej rzeki.

Nie ma to jednak znaczenia przy porównywaniu zestawu środków chemicznych. Dla celów porównawczych liczy się współczynnik podawania środków chemicznych, lub, innymi słowy, stężenie, którego „utrzymywanie” zaleca się w systemie z recyrkulacją, a tym samym w [wodzie] upustowej. Dostawcy środków chemicznych z reguły zalecają zakres stężeń w zależności od poszczególnych przypadków: należy stosować średni współczynnik dozowania.

### 13.1.5 Metody obliczeń

#### 13.1.5.1 Uzdatnianie pojedynczą substancją

Jednoskładnikowe uzdatnianie chemiczne jest stosowane bardzo rzadko. W większości przypadków stosuje się różne kombinacje nieorganicznych i organicznych środków chemicznych.

Przykłady uzdatniania pojedynczymi substancjami przeważnie dotyczą systemów [chłodzenia], gdzie mogą być stosowane pojedyncze biocydy, lub oczyszczalni ścieków, gdzie mogą być stosowane pojedyncze polimery. Istnieje jednak możliwość, że, raczej na poziomie Państw Członkowskich niż na poziomie lokalnym, pojawi się potrzeba dokonania oceny porównawczej najbardziej typowych pojedynczych substancji dostępnych na rynku.

Na poziomie lokalnym bardziej prawdopodobna jest konieczność przeprowadzenia porównania między kompletnymi metodami uzdatniania niż pojedynczymi substancjami. Wyłącznie na poziomie lokalnym można uzyskać zbilansowany obraz całkowitego oddziaływania różnych substancji na środowisko wodne, przy konieczności porównania proponowanych sposobów uzdatniania.

Zaproponowana tutaj procedura porównawcza wiąże się z bardzo prostymi obliczeniami dla poszczególnych substancji. Jednym z warunków, które należy poznać, jest średnie wymagane stężenie substancji w wodzie upustowej. Jest ono zwykle wyrażone w częściach na milion (ppm) lub miligramach na litr (mg/l) i dotychczas wartość ta była określana jako stężenie  $PEC_{znormalizowane}$ .

Innym elementem równania jest stężenie PNEC lub norma EQS. Wartości te mogły już zostać ustalone przez Państwo Członkowskie, lub będą musiały zostać „uzgodnione” na poziomie lokalnym, przy wykorzystaniu procedury z załącznika V do dyrektywy WFD, w oparciu o dane dostarczone poprzez dostawcę środków chemicznych. Normy EQS są zwykle także wyrażone w ppm, czasami w ppb lub w mikrogramach na litr.

Stosunek  $PEC/PNEC$  może być zatem łatwo wyznaczony dla wszystkich substancji, które wymagają oceny. Jest on wartością czysto liczbową (jeśli PNEC i EQS są wyrażone w tych samych jednostkach, ppm lub ppb). Im niższy współczynnik, tym mniejszy *potencjalny* wpływ substancji.

Należy raz jeszcze podkreślić, że niniejsza koncepcja oceny porównawczej stanowi znormalizowaną metodologię oceny potencjalnych wpływów środków chemicznych zawartych w wodzie chłodzącej; ocena ta pozbawia je wszystkich lokalnych i fizykochemicznych cech z wyłączeniem toksyczności. W ten sposób może ona być użyteczna w czasie projektowania całego zakładu przy ustalaniu obszarów, które wymagają dodatkowego sprawdzenia i przy projektowaniu uzdatniania chemicznego. Jednakże nie może być stosowana jako narzędzie decyzyjne przy ocenie na poziomie lokalnym: fakt, że jedna substancja ma niższy stosunek stężenia  $PEC_{znormalizowane}$  do współczynnika EQS, nie koniecznie oznacza, że stanowi ona najlepszy wybór w danej sytuacji, szczególnie po uwzględnieniu innych czynników charakterystycznych dla lokalizacji, zakładu i samej substancji.

### 13.1.5.2 Uzdatnianie złożone

Jest to w praktyce najczęstszy przypadek, z którym mają do czynienia lokalne władze i operatorzy zakładów w podaniach o zezwolenie.

Przed wykonaniem, z pomocą dostawcy, kompletnej rzeczywistej oceny wartości PEC dla wszystkich substancji, która może okazać się niezbędna w pewnych przypadkach, można pomocniczo zastosować uproszczone podejście porównawcze przy projektowaniu uzdatniania chemicznego w ramach projektu działania całego zakładu.



Można rozważyć zastosowanie procedury „dodawania”, w której za pomocą opisanej powyżej metody można obliczyć stosunek PEC/PNEC dla każdej substancji; otrzymane wyniki są następnie sumowane, by dać względną liczbę „indeksową”. Takie podejście przypomina podejście wykorzystywane przy klasyfikacji preparatów chemicznych, które jest oparte na klasyfikacji poszczególnych substancji wchodzących w ich skład. Im niższa jest wartość tej sumy, tym mniejszy jest przewidywany wpływ takiego wieloskładnikowego uzdatniania na środowisko.

Nie trzeba wspominać, że lepiej by było, gdyby suma wszystkich wartości poszczególnych współczynników wyniosła mniej niż 1, niż gdyby miała tę wielkość przekroczyć. Miałoby to znaczenie, tylko gdyby rzeczywisty lokalny współczynnik rozcieńczenia był znany i został włączony do oceny.

Jednakże kiedy pojawiają się wartości powyżej 1 i istnieje odczucie, że z technicznego punktu widzenia specyficzne uzdatnianie niesie ze sobą inne środowiskowe/ekonomiczne korzyści (mniej wody, mniej energii), to należy zastosować bardziej skomplikowane procedury oceny ryzyka. Może się to wiązać z precyzyjnymi obliczeniami strat środków chemicznych w systemie (los tych środków) i udoskonaleniem wyznaczenia wartości PNEC (dane o chronicznym działaniu zamiast „danych ostrych”).

Nie wydaje się, żeby centralne przeprowadzenie ogólnej oceny porównawczej w ramach dokumentu referencyjnego BREF, lub nawet na poziomie Państwa Członkowskiego, z uwzględnieniem wszystkich możliwych sposobów uzdatniania i kombinacji, było zadaniem realistycznym. Ocena porównawczą substancji złożonych (tj. uzdatniania) należy raczej uznać za kwestię lokalną, patrz punkt VIII.2 niniejszego załącznika.

### 13.1.6 Załącznik I: wyciąg z dokumentu pomocy technicznej

**Rozdział 3 (Ocena ryzyka środowiskowego), punkt 3.3.1 część II „dokumentu doradztwa technicznego do dyrektywy 93/67/EWG dotyczącej oceny ryzyka dla zgłoszonych nowych substancji i rozporządzenie Komisji (UE) nr 1488/94 dotyczące oceny ryzyka dla istniejących substancji”.**

## 3.3 Ocena skutków oddziaływania na zbiorniki wodne

### 3.3.1 Obliczenie stężenia PNEC

Ocena ryzyka służy kompleksowej ochronie środowiska naturalnego. W odniesieniu do środowiska wodnego dokonywane są pewne założenia, które pozwalają, choć nie z całą pewnością, na ekstrapolację toksyczności krótkoterminowej z pojedynczych gatunków na oddziaływanie na ekosystem. Zakłada się, że:

- wrażliwość ekosystemu zależy od najbardziej wrażliwego gatunku i
- ochrona struktury ekosystemu chroni funkcje zbiorowe.

Te dwa założenia mają ważne konsekwencje. Dzięki ustaleniu w laboratorium, który gatunek jest najbardziej wrażliwy na toksyczne oddziaływanie danego środka chemicznego, można, na bazie tych danych, dokonywać dalszej ekstrapolacji. Ponadto funkcjonowanie jakiegokolwiek ekosystemu, w którym ten gatunek żyje, jest chronione pod warunkiem, że struktura nie została na tyle zniekształcona, by spowodować brak równowagi. Jest ogólnie przyjęte, że

ochrona najbardziej wrażliwych gatunków powinna chronić strukturę ekosystemu, a tym samym jego funkcjonowanie.

W przypadku wszystkich nowych substancji istnieje bardzo ograniczona liczba danych, na podstawie których można przewidzieć oddziaływanie na ekosystem; dostępne są tylko dane krótkoterminowe. Jeśli chodzi o większość istniejących substancji sytuacja jest również podobna: w wielu przypadkach, dostępne są tylko dane o toksyczności krótkoterminowej. W tych okolicznościach uważa się, że, jeżeli nie ma wystarczająco silnych naukowych podstaw oceny, należy stosować wskaźniki uzyskane doświadczalnie. Współczynniki oceny zostały również zaproponowane przez EPA i OECD (OECD, 1922d). Zastosowanie tych współczynników ma na celu określenie przewidywanego stężenia, poniżej którego najprawdopodobniej nie nastąpi niepożądane oddziaływanie na środowisko. Nie ma to być poziom, poniżej którego środek chemiczny jest uważany za bezpieczny. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że pojawią się niepożądane skutki jego działania.

Ustalając rozmiar tych współczynników oceny, należy wyjaśnić wiele wątpliwości, co pozwoli ekstrapolować dane laboratoryjne jednego gatunku na wielogatunkowy ekosystem. Obszary, w których panuje niepewność, zostały omówione w innych publikacjach i mogą zostać podsumowane przez następujące hasła:

- Różnice w danych o toksyczności na obszarze danego laboratorium i między różnymi laboratoriami,
- Różnice wewnątrz- i między-gatunkowe (wariancja biologiczna),
- Ekstrapolacja z toksyczności krótko- na długoterminową,
- Ekstrapolacja z danych laboratoryjnych na warunki terenowe.  
(Wymaga się dokonywania ekstrapolacji z prób dotyczących jednego gatunku na ekosystem. Pewną rolę mogą również odgrywać efekty dodawania, synergetyczne i antagonistyczne wynikające z obecności innych substancji).

Rozmiar współczynników oceny zależy od pewności, z jaką na bazie posiadanych danych można wyznaczyć stężenie  $PNEC_{wody}$ . Ta pewność wzrasta, gdy dostępne są dane o toksyczności dla organizmów na wielu poziomach troficznych, w różnych grupach systematycznych i o różnych strategiach żywienia. Można zatem zastosować niższe współczynniki oceny, gdy dysponuje się większą liczbą dokładniejszych danych niż dane zestawu bazowego. Proponowane współczynniki oceny są przedstawione w tabeli VIII.1.

W przypadku nowych substancji współczynnik oceny 1000 będzie stosowany przy najniższym  $L(E)C_{50}$  z zestawu bazowego. Dla substancji istniejących współczynnik oceny jest również zwykle stosowany przy najniższych odpowiednich dostępnych danych o toksyczności, niezależnie czy testowany gatunek jest standardowy (patrz uwagi do tabeli 14). Dla testów krótkoterminowych stosuje się  $L(E)C_{50}$ , podczas, gdy NOEC jest stosowane dla testów długoterminowych. W odniesieniu do niektórych związków może być dostępna większa liczba potwierdzonych wartości krótkoterminowych  $L(E)C_{50}$ . Gdy dla jednego gatunku jest dostępna więcej niż jedna wartość  $L(E)C_{50}$ , proponuje się wyznaczyć średnią arytmetyczną. Przed obliczeniem średniej arytmetycznej należy wykonać analizę warunków testowych i dowiedzieć się, dlaczego wystąpiły różnice w reakcji.

Test zahamowania wzrostu glonów na zestawie bazowym jest w zasadzie testem wielopokoleniowym. Jednakże dla celów stosowania właściwych współczynników oceny, stężenie  $EC_{50}$  jest traktowane jako wartość toksyczności krótkoterminowej. Stężenie NOEC z tego testu może być wykorzystane jako dodatkowe stężenie NOEC, gdy są dostępne inne długoterminowe dane. W zasadzie stężenie NOEC dla glonów nie powinno być używane bez

wspomagania długoterminowymi NOEC dla gatunków z innych poziomów troficznych. Jednakże jeśli środek chemiczny wykazuje specyficzną toksyczność dla glonów, to NOEC dla glonów otrzymany z testu zestawu bazowego powinien być poparty przez testy na innym gatunku glonów.

Mikroorganizmy reprezentujące dalszy poziom troficzny mogą być stosowane jedynie, jeśli testowano nieprzystosowane czyste kultury. Badania na bakteriach (tj. testy wzrostu) są uznane za testy krótkoterminowe. Dodatkowo niebiesko-zielone glony powinny być zaliczone do głównych producentów pod kątem ich autotroficznego odżywiania.

**Tabela VIII.2: Współczynnik oceny do uzyskania PNEC**

Opis	Współczynnik oceny
Co najmniej jedno krótkoterminowe L(E)C <sub>50</sub> dla każdego trzech poziomów troficznych zestawu bazowego (ryby, dafnia, algi)	1000 <sup>(a)</sup>
Jedno długoterminowe NOEC (zarówno ryby lub dafnia)	100 <sup>(b)</sup>
Dwa długoterminowe NOEC dla gatunków reprezentujących dwa poziomy troficzne (ryby i/lub dafnia i/lub algi)	50 <sup>(c)</sup>
Długoterminowe NOEC dla co najmniej trzech gatunków (normalnie ryby, dafnia i algi) reprezentujących trzy poziomy troficzne	10 <sup>(d)</sup>
Dane terenowe lub modelowe ekosystemy	Ustalone w oparciu o indywidualne przypadki <sup>(e)</sup>

**UWAGI:**

- (a) Współczynnik 1000 stosowany dla krótkoterminowych danych toksycznych jest bezpieczny oraz zapewnia, że substancje, które mogą potencjalnie niekorzystnie oddziaływać na środowisko, zostaną rozpoznane w ocenie ryzyka. Zakłada on, że każdy z powyżej określonych współczynników niepewności w znaczący sposób wpływa na ogólny poziom niepewności.

W przypadku każdej substancji mogą istnieć dowody na to, że tak nie jest lub że jeden szczególnie składnik współczynnika niepewności ma większe znaczenie niż pozostałe. W tych okolicznościach niezbędna może być zmiana tego współczynnika. Może ona prowadzić do wzrostu lub obniżenia współczynnika oceny w zależności od dostępnych dowodów. W celu uzyskania PNEC<sub>wody</sub> z danych o toksyczności krótkoterminowej, w żadnym wypadku nie należy używać współczynnika niższego niż 100, z wyjątkiem substancji o okresowej emisji (patrz rozdział 3.3.2). Dowody prowadzące do zmiany współczynnika oceny mogą uwzględniać jeden lub więcej z następujących aspektów:

- Dowody ze związków strukturalnie podobnych (dowody ze związku blisko „spokrewnionego” mogą wskazywać, że właściwy może być wyższy lub niższy współczynnik).
- Wiedza o sposobie działania (niektóre substancje, ze względu na ich strukturę, mogą być znane z nietypowego działania. W takim wypadku można rozważyć niższy współczynnik. Analogicznie znajomość specyficznego rodzaju działania może być podstawą do zastosowania wyższego współczynnika).
- Dostępność danych na temat wielu gatunków z dodatkowych grup systematycznych, poza grupami reprezentowanymi przez gatunki z zestawu bazowego.

- Dostępność danych dotyczących różnych gatunków obejmujących grupy systematyczne gatunków z zestawu bazowego, z co najmniej trzech poziomów troficznych. W takim przypadku współczynnik oceny może zostać obniżony, tylko jeśli te różnorodne dane są dostępne dla najbardziej wrażliwych grup systematycznych.

Są przypadki, w których zestaw bazowy jest niepełny, np. dla substancji wytwarzanych na poziomie  $<1$  t/a [ton rocznie] (oznaczenie według załącznika VII B dyrektywy 92/32/EWG) ustalono co najwyżej ostrą toksyczność dla dafnii. Dla tych wyjątkowych przypadków PNEC powinno być wyznaczone przy współczynniku 1000. Odstępstwa od współczynnika 1000 nie powinny być uważane za normalne i powinny być poparte przez odpowiednie dowody.

- (b) Współczynnik oceny 100 ma zastosowanie dla pojedynczych długoterminowych NOEC (ryby lub dafnia), jeśli NOEC powstało dla poziomu troficznego wykazującego najmniejsze  $L(E)C_{50}$  w testach krótkoterminowych. Jeśli jedyna dostępna długoterminowa wartość NOEC dotyczy gatunków (standardowe lub niestandardowe organizmy), które nie mają najniższego  $L(E)C_{50}$  z testów krótkoterminowych, to stosowanie dostępnych współczynników oceny nie może być uważane za ochronę innych bardziej wrażliwych gatunków. Ocena oddziaływania jest zatem oparta na danych krótkoterminowych ze współczynnikiem oceny 1000. Jednakże otrzymane PNEC oparte na krótkoterminowych danych może nie być wyższe niż PNEC oparte na dostępnym długoterminowym NOEC.

Współczynnik oceny 100 ma zastosowanie także do najniższego z dwóch długoterminowych NOEC obejmujących dwa poziomy troficzne, kiedy NOEC nie pochodzą z poziomu przedstawiającego najniższy  $L(E)C_{50}$  testów krótkoterminowych.

- (c) Współczynnik oceny 50 ma zastosowanie do mniejszej z dwóch wartości NOEC obejmujących dwa poziomy troficzne, kiedy NOEC zostały uzyskane na tym poziomie, który pokazuje najniższy  $L(E)C_{50}$  w testach krótkoterminowych. Ma on zastosowanie także do najniższej z trzech długoterminowych wartości NOEC obejmujących trzy poziomy troficzne, kiedy NOEC nie zostały uzyskane na tym poziomie, który prezentuje najniższy  $L(E)C_{50}$  w testach krótkoterminowych.
- (d) Współczynnik oceny 10 normalnie będzie miał zastosowanie jedynie, kiedy dostępne będą długoterminowe toksyczne NOEC z co najmniej trzech gatunków reprezentujących trzy poziomy troficzne (tj. ryby, dafnia i glony lub niestandardowe organizmy zamiast organizmów standardowych).

Przy ocenie wyników długoterminowych badań toksykologicznych,  $PNEC_{wody}$  powinno być obliczane z najniższego dostępnego stężenia przy którym nie obserwowano oddziaływania (NOEC). Ekstrapolacja na oddziaływanie na ekosystem może być wykonana ze znacznie większą pewnością, co pozwala na redukcję współczynnika oceny do 10. Jednak jest to wystarczające tylko, jeśli badane gatunki można uznać za przedstawicieli jednej z bardziej wrażliwych grup. Normalnie można by to ustalić wyłącznie, jeśli byłyby dostępne dane, dla co najmniej trzech gatunków z trzech poziomów troficznych. Czasami jest możliwe ustalenie z wysokim prawdopodobieństwem, że najbardziej wrażliwy gatunek został zbadany, tj. jeśli dalsze długoterminowe NOEC z różnych grup systematycznych nie będzie niższe niż dane, które są już dostępne. W tych okolicznościach właściwy byłby również współczynnik 10 dla najniższego NOEC tylko z dwóch gatunków. Jest to szczególnie

ważne, jeśli substancje nie mają potencjału do bioakumulacji. Jeśli nie jest możliwe dokonanie takiej oceny, wówczas należy zastosować współczynnik oceny 50, co uwzględni jakiegokolwiek międzygatunkowe różnice w czułości. Współczynnik 10 nie może być zmniejszony na podstawie badań laboratoryjnych.

- (e) Współczynnik oceny użyty do badań w mezosystemach (ang. *mesocosm*) lub danych (częściowo-) terenowych będzie musiał być sprawdzony dla każdego przypadku indywidualnie.

Dla związków z wysokim współczynnikiem „log Kow” można nie wykryć toksyczności krótkoterminowej. Podobna sytuacja, bądź niemożność osiągnięcia stanu stabilności, może również wystąpić nawet przy testach długoterminowych. W badaniach przeprowadzanych na rybach i dotyczących niepolarnych środków odurzających ten drugi przypadek może być potwierdzony przez użycie długoterminowych QSAR (patrz punkt 3.2.1.2 i rozdział 4 Stosowanie QSAR). W sytuacjach, gdy wydaje się, że stan stabilności nie został osiągnięty, można rozważyć zastosowanie wyższego współczynnika oceny.

W przypadku substancji, dla których nie wykrywa się toksyczności w testach krótkoterminowych, powinno się przeprowadzić testy długoterminowe, jeśli „log Kow”  $>3$  (lub  $BCF > 100$ ) i jeśli  $PEC_{\text{lokalny/regionalny}}$  jest  $>1/100$  rozpuszczalności w wodzie (patrz punkt 4.5). Długoterminowe testy toksyczności powinny badać dafnie, co pozwoli uniknąć zbędnych testów na kręgowcach. NOEC z takiego badania może być zastosowane ze współczynnikiem oceny 100. Jeśli dodatkowo do wymaganego testu długoterminowego NOEC zostało określone na podstawie badania zestawu bazowego glonów, to można zastosować współczynnik 50.

Ocena wpływu dokonana ze współczynnikami oceny może być wsparta przez metodę ekstrapolacji statystycznej, jeśli istnieje wystarczająca ilość danych (patrz załącznik V).

## 13.2 Metoda lokalnej oceny środków do uzdatniania wody chłodzącej, ze szczególnym uwzględnieniem biocydów

### 13.2.1 Wprowadzenie

Jednym z głównych zagadnień środowiskowych rozpoznanych w dokumencie referencyjnym BREF o przemysłowych systemach chłodzenia w odniesieniu do mokrych systemów chłodzenia jest uzdatnianie chemiczne wody chłodzącej (antykorozyjne, przeciw osadzaniu, kontrola biozanieczyszczeń) i wynikająca z niego emisja do wody powierzchniowej. Szczególny nacisk jest kładziony na biocydy ze względu na ich nieodłączną wysoką toksyczność, która jest niezbędna, by substancje te spełniały swoją funkcję.

Dokument referencyjny BREF dla chłodzenia wyróżnia trzy poziomy, na których można zastosować techniki redukcji oddziaływania dodatków / biocydów do wody chłodzącej na przyjmujące je środowiska wodne:

1. Działania zapobiegawcze (tabela 4.7)
2. Optymalizacja eksploatacji, monitorowanie (tabela 4.8)
3. Wybór i zastosowanie dodatków (tabela 4.8)



Te trzy poziomy kontroli oddziałują na siebie wzajemnie; dyskusja w grupie roboczej TWG doprowadziła do ustalenia, że wybór właściwych dodatków jest czynnością złożoną, która musi brać pod uwagę wiele lokalnych i specyficznych dla danego miejsca czynników.

Potrzeba przedstawienia zarysu koncepcji leżącej u podstaw oceny dodatków / biocydów do wody chłodzącej została uznana za ważne działanie BAT, które ma pomóc w ograniczaniu oddziaływania dodatków, a w szczególności biocydów, na środowisko. W związku z tym, dokument referencyjny BREF zawiera załącznik, który ustala narzędzia oceny oparte o istniejące metodologie i dane („Ocena porównawcza”); rozdział 3 także dostarcza podstawowych informacji na temat metod oceny stosowanych w Holandii i Niemczech.

W poziomym dokumencie referencyjnym BREF możliwe i właściwe są tylko ogólne wnioski na temat pojęć, które pomogą w zastosowaniu zasad BAT dotyczących wyboru biocydów i innych dodatków. Charakterystyka instalacji, warunki klimatyczne i środowisko lokalne są kluczowymi elementami w określeniu podejścia BAT na poziomie lokalnym dla każdej instalacji.

W każdej metodzie oceny należy zwrócić szczególną uwagę na biocydy, ponieważ, ze względu na swoje naturalne właściwości, potencjalnie stanowią one większe zagrożenie dla przyjmującego je środowiska wodnego. Emitowane z wodą chłodzącą związki zawierające biocydy mogą wykazywać na wylocie ostrą toksyczność. Lokalne okoliczności, charakterystyka wykorzystywanych substancji i, w szczególności, rzeczywiste rozcieńczenie w wodzie decydują o tym, czy mogą być spełnione środowiskowe normy jakości (EQS). Właściwy wybór stosowanych biocydów i ograniczenie ich potencjalnego oddziaływania może być podjęte tylko, gdy istnieje możliwość właściwej oceny ich potencjalnego oddziaływania. Miarą pozwalającą na ocenę zgodnego z BAT podejścia dotyczącego stosowania dodatków / biocydów, jest stan przyjmującego je środowiska wodnego.

Z powyższych powodów poziomy dokument referencyjny BREF dla chłodzenia, powinien dostarczać wytycznych, w jaki sposób traktować charakterystyczne dla danej lokalizacji zagadnienia w dokonywanej lokalnie ocenie biocydów użytych w systemach chłodzenia. Taka lokalna ocena może być uważana za kolejny, bardziej szczegółowy krok, następujący po (opcjonalnie) wstępnych działaniach kontrolnych, takich jak metoda porównawcza przedstawiona w załączniku VI.1.

Dlatego też, celem dokumentu referencyjnego BREF jest dostarczenie wytycznych dotyczących oceny sytuacji lokalnej, bez zalecania konkretnej metodologii. Istnieje wiele stale rozwijanych metodologii i modeli oceny scenariuszy emisji na poziomie lokalnym (od prostych do bardzo zaawansowanych). Powinno to być wystarczające by składający podania o pozwolenia i władze Państw Członkowskich mogły dokonać wyboru właściwych metodologii w zależności od warunków lokalnych i poziomu obaw dotyczących potencjalnego oddziaływania na środowisko oraz je odpowiednio zastosować.

### 13.2.2 Elementy kluczowe

Zajmując się problemem minimalizacji oddziaływania biocydów stosowanych w systemach chłodzenia zgodnie z zasadami BAT należy mieć świadomość istnienia dwóch kluczowych dokumentów:

- Dyrektywa w sprawie wprowadzenia do obrotu środków biobójczych 98/8/WE (BPD), która od 14/5/2000 reguluje wprowadzanie biocydów na rynek europejski. W tym

kontekście UE będzie sprawdzała scenariusze ekspozycji, by następnie ocenić ryzyko związane z wszystkimi 23 kategoriami produktów, których dokument dotyczy. Jeden z typów produktów przeznaczonych do autoryzacji obejmuje biocydy stosowane w systemach chłodzenia (typ produktu 11). Zgodnie z dyrektywą nowe biocydy mają być niezwłocznie oceniane i zatwierdzane. Dokonano rozszerzenia na istniejące substancje, które zostaną poddane analizie we właściwym czasie.

- Przyszła ramowa dyrektywa wodna (WFD), która wyznacza wiele celów dotyczących jakości. Uwzględniają one w szczególności metodologię stosowaną do ustalania norm EQS dla substancji chemicznych, które są wymienione w załączniku V do dyrektywy WFD. Metodologia ustalania norm EQS jest taka sama, jak w przypadku ustalania ostrożnych stężeń PNEC (prognozowane stężenie niewywołujące niekorzystnych skutków) według metod badań ustalonych w prawodawstwie UE w sprawie środków chemicznych. Metoda ta zawiera „współczynnik bezpieczeństwa” wynoszący nawet aż 1000, by uwzględnić niepewność łączącą się z ekstrapolacją z testów toksyczności na wybranych organizmach na ochronę ekosystemu wodnego.

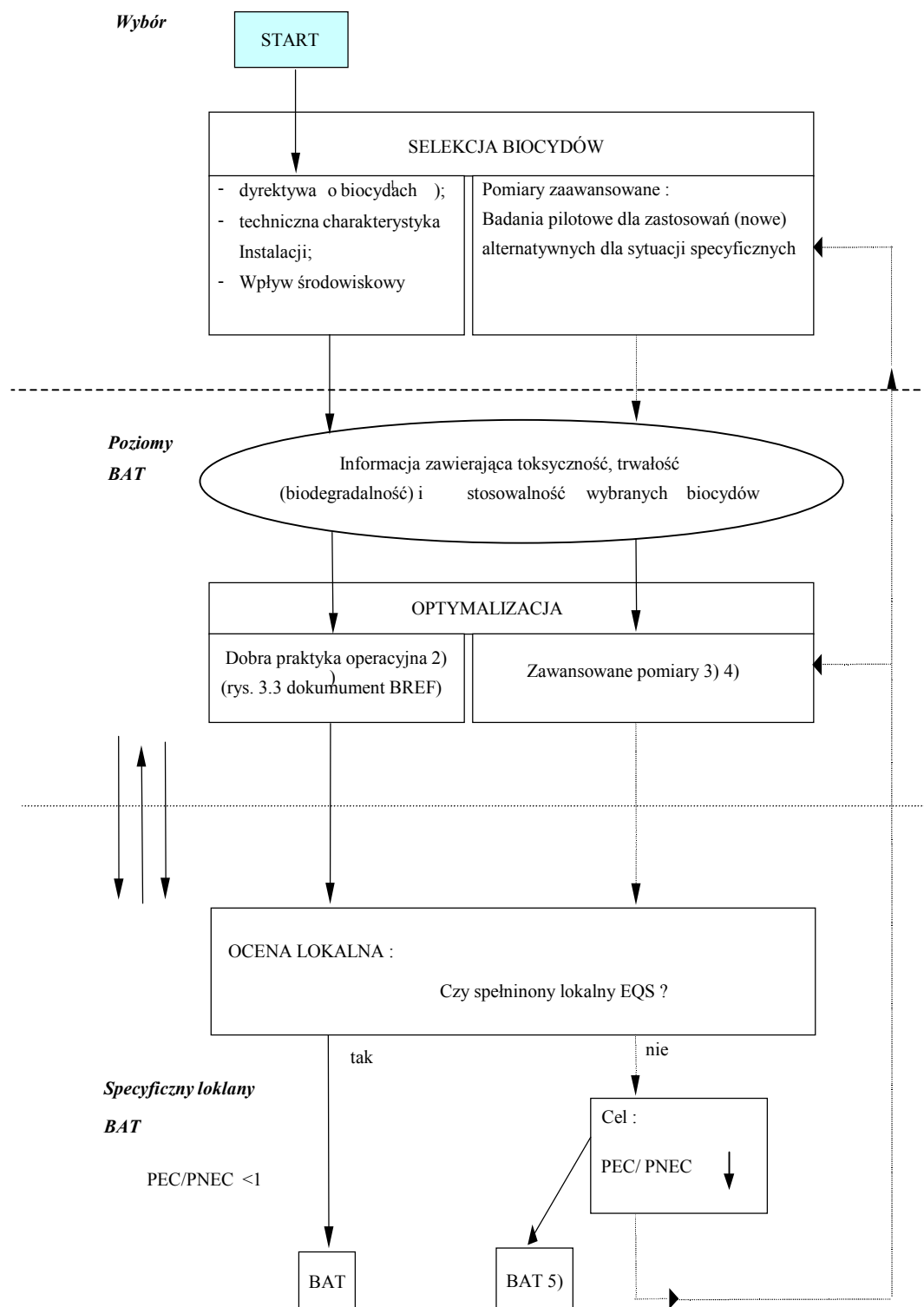
Dane o toksyczności biocydów używanych w systemach chłodzenia są już ogólnie dostępne albo zostaną udostępnione razem z danymi o innych istotnych specyficznych właściwościach (tj. biodegradacja, bioakumulacja) zgodnie z procedurami ustalonymi przez dyrektywę BPD. Oparta na tych danych metodologia zamieszczona w załączniku V do dyrektywy WFD może być wykorzystana do wyznaczenia normy EQS (tj. wartości PNEC) dla substancji znajdujących się w wodzie.

Norma EQS może zostać następnie porównana z prognozowanym stężeniem w środowisku (PEC), aby pomóc w określeniu, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia oddziaływania. Ponieważ norma EQS odpowiada stężeniu PNEC, to często zależność ta jest wyrażana jako „porównanie stężeń PEC : PNEC”. Jak wspomniano wyżej, istnieje wiele metod obliczania przewidywanego stężenia substancji w wodzie w wyniku emisji (tj. PEC).

Wartości PEC/PNEC można użyć jako miary dla określenia BAT w zgodnym z BAT podejściu do biocydów wykorzystywanych w systemach chłodzenia. Powinno się jednak pamiętać, że inaczej należy traktować nowe i istniejące instalacje. Wartość PEC : PNEC <1 w wodzie po rzeczywistym wymieszaniu i rozcieńczeniu może być miarą (wartością graniczną) dla zastosowania biocydów w nowych systemach chłodzenia. W istniejących systemach chłodzenia, gdzie wiele parametrów projektowych i innych cech instalacji jest już ustalone, nie zawsze będzie możliwe uzyskanie PEC: PNEC <1 przy rozsądnych nakładach finansowych, jak opisano to w definicji BAT. W takich przypadkach stosunek PEC : PNEC <1 powinien pozostać celem (wartość porównawcza), który będzie brany pod uwagę w rozważaniach długoterminowych uwzględniających cykle wymiany urządzeń itd.

Rysunek VIII.2 przedstawia graficznie przykład, w jaki sposób można określić zgodne z BAT podejście do użycia biocydów w istniejącym systemie chłodzenia. Właściwie zoptymalizowane działanie w dobrze zaprojektowanym systemie chłodzenia może być uznane za BAT, gdy stosunek PEC : PNEC <1. Dla instalacji, w których nie można osiągnąć PEC : PNEC <1 ze względu na mniej korzystną konstrukcję, lub inne czynniki lokalne, niezbędna będzie najlepsza możliwa optymalizacja pracy systemu.





Rysunek VIII.2 Zintegrowane podejście do oceny biocydów w wodzie chłodzącej dla istniejących instalacji

**Legenda do rysunku VIII.2:**

- 1) dyrektywa ta jest obecnie przygotowywana;
- 2) optymalizacja wykorzystania biocydów poprzez monitoring parametrów związanych ze sterowaniem systemu chłodzenia i optymalizacją dozowania (preferowane dozowanie automatyczne);
- 3) można wziąć pod uwagę działania takie jak, uzdatnianie wstępne, filtracja na obiegu bocznym. Można także rozważyć działania oczyszczania na wyjściu. Wybór tych działań jest z reguły zależny do istniejącej sytuacji. Można rozpatrywać szeroki zakres metod oczyszczania na wyjściu, jak uzdatnianie biologiczne, filtracja piaskiem, techniki adsorpcji, natlenianie ozonem, itp.
- 4) w tym przypadku (normalne) kryteria BAT dotyczące tych działań muszą być zastosowane; oznacza to ocenę różnych aspektów, takich jak: dostępność działań, relacja nakładów na niezbędne działania do ich wpływu środowiskowego;
- 5) w tym przypadku jeśli mamy do czynienia ze zoptymalizowanymi warunkami wdrażania odpowiednich działań (sterowanie procesem, optymalizacja użycia biocydów i zastosowanie metod oczyszczania na wyjściu) w ramach normalnych kryteriów BAT dla działań ograniczających zanieczyszczenie (patrz 4). Rezultat powyższej oceny jest rozwiązaniem, które pozwala na zbliżenie się do celu, jakim jest  $PEC/PNEC = 1$ . Inne odpowiednie dodatki (mające mniejszy wpływ na środowisko) nie są dostępne. Z tego powodu może to być uznane za BAT dla istniejących instalacji.

### 13.2.3 Przykład zaproponowanej metody oceny lokalnej [tm004, Baltus and Berbeć, 1996] i [tm149, Baltus et al., 1999]

Podany poniżej przykład został opracowany według metody przedyskutowanej na spotkaniu Technicznej Grupy Roboczej (TWG) w Sewilli w dniach 29-31 maja, która następnie została rozwinięta i uwzględniona jako proponowana ocena biocydów w załączniku VII do niniejszego dokumentu referencyjnego BREF.

Zgodnie z proponowanym schematem można wyróżnić trzy główne etapy:

#### 1) DOBÓR BIOCYDÓW:

Dobór biocydów jest dokonywany indywidualnie dla każdego systemu chłodzenia i zwykle jest wynikiem specjalistycznych uzgodnień pomiędzy operatorem zakładu a dostawcą środków chemicznych. Metodologia porównawcza opisana w załączniku VII niniejszego dokumentu BREF może być bardzo użytecznym narzędziem przy dokonywaniu wyboru biocydów. Należy wspomnieć, że wynikiem tego etapu jest tylko wstępne określenie preferencji wśród możliwych biocydów. Dalsze etapy (2 i 3) mogą doprowadzić do innego uszeregowania rozpatrywanych biocydów na liście preferencji.

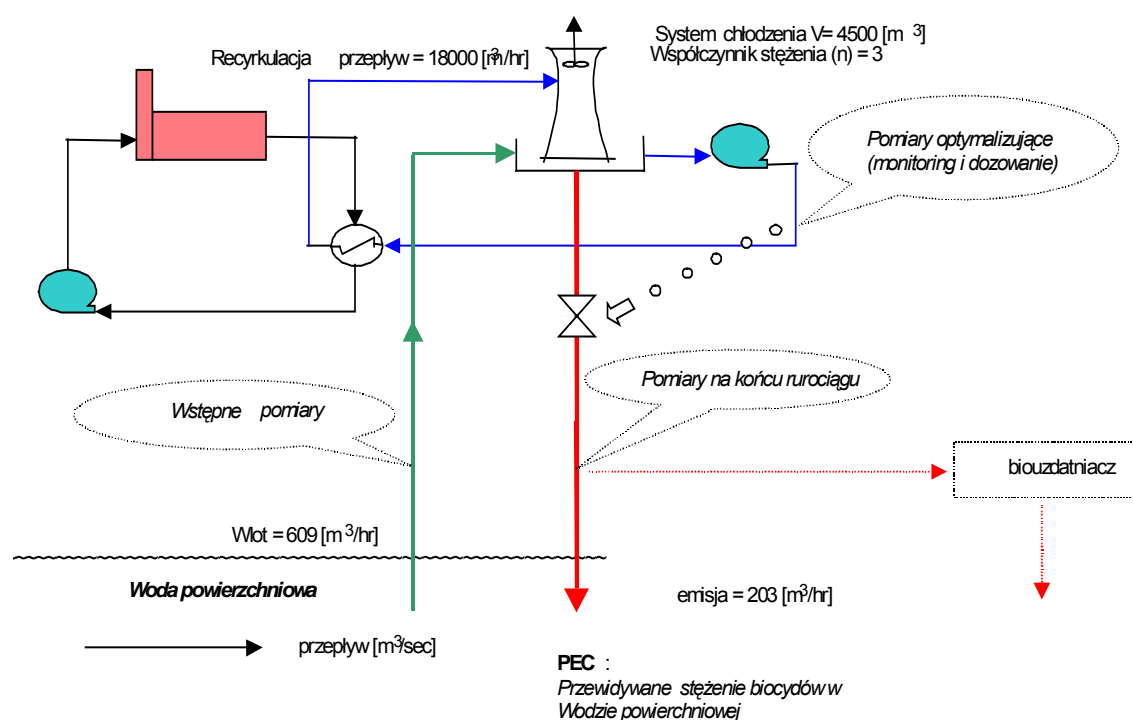
#### 2) ETAP OPTYMALIZACJI:

Etap optymalizacji uwzględnia wszystkie techniki procesowe, dozowania i monitorowania, jak również oczyszczanie wody uzupełniającej, filtrację boczną i sposoby sterowania, takie jak tymczasowe zamknięcie przelewu z obiegu z recyrkulacją.

#### 3) OCENA LOKALNA:

Ocena lokalna jest ostatnim etapem oceny biocydów i dostarcza operatorom zakładu, dostawcom środków chemicznych i instytucjom nadzoru miarę, która umożliwi ustalenie, w jakim zakresie praca, sposoby i techniki sterowania muszą być zastosowane by spełnić wymagania lokalnej normy EQS.

Dla przykładu opracowano następujący przypadek: w systemie chłodzenia z recyrkulacją muszą być stosowane środki chemiczne, by zapobiec zanieczyszczeniu systemu mikroorganizmami. Rysunek VIII.3 prezentuje wymiary układu chłodzenia.



**Rysunek VIII.3 Schematyczna prezentacja systemu chłodzenia z recyrkulacją z danymi dla przykładu dla metody lokalnego wyboru środków chemicznych systemu chłodzenia**

Dla potrzeb tego przykładu przyjęto założenie, że wynikiem etapu 1 (metody porównawczej) jest wybór biocydów podchlorynu w połączeniu z dibromonitripropionamidem (DBNPA).

Optymalizacja w warunkach właściwego monitoringu i dozowania podchlorynu pokazuje, że średnie stężenie w ściekach nie powinno przekraczać 0,2 [mg FO/l].

W przypadku nieutleniającego biocydu DBNPA optymalizacja prowadzi do dozowania szokowego o stężeniu 4 [mg/l] (częstotliwość: raz dziennie).

DBNPA jest dodatkiem, który łatwo ulega hydrolizie w wodzie ( $\tau_{1/2}=2$  godz.). Ta właściwość może stanowić zaletę przy redukcji emisji z systemu chłodzącego oraz przy poprawie efektywności wykorzystania biocydu. Dzięki zamknięciu wylotu na określony czas podczas i po dozowaniu stężenie biocydu ulegnie redukcji w systemie. W tym szczególnym przypadku, gdzie rozważany jest DBNPA, chwilowe zamknięcie przelewu daje dodatkową możliwość (optymalizacji) redukcji ilości emitowanych do środowiska biocydów. Z punktu widzenia operatora powstaje pytanie: do jakiego stopnia możliwe jest zamknięcie przelewu w systemie z recyrkulacją, by poprzez hydrolizę zredukować stężenie DBNPA do wystarczającego poziomu, bez ograniczania dobrej sprawności eksploatacyjnej systemu chłodzenia? Wystarczającym poziomem jest stężenie DBNPA w ściekach prowadzące do stężenia w

zbiorniku odbierającym (PEC: prognozowane stężenie w środowisku), które nie przekroczy wartości normy EQS.

W poniższej tabeli obliczono prognozowane stężenie DBPNA w kilku rodzajach wód powierzchniowych. W ostatniej kolumnie podano wyrażoną w procentach redukcję, która jest wymagana, by spełnić normę EQS dla tych wód powierzchniowych.

**Tabela VIII.3 Prognozowane stężenie DBPNA w różnych wodach powierzchniowych dla niniejszego przykładu**

<b>Sytuacja:</b> System chłodzenia z recyrkulacją; objętość emisji (upust): 203 [m <sup>3</sup> /godz.]; użyte biocydy: DBPNA; dozowanie: szokowe (dzienne); stężenie: 4 [mg/l]; EQS: 7 [µg/l]							
Odbiornik	Wymiary					PEC [µg/l]	Wymagana redukcja [%] by sprostać EQS
	Przepływ [m <sup>3</sup> /sec]	Szerokość	Głębokość [m]	Prędkość [m/s]	Rozcieńczenie po emisji		
Średnia rzeka	25	50	2,6	0,192	110	36,4	80,5
Duża rzeka	262	125	3,8	0,552	770	5,2	0
Mała rzeka/strumień	1	10	1,5	0,067	10	400	98,5
Duży kanał	40	200	6	0,033	92	43,5	83,9
Mały kanał	2	25	2	0,04	14	286	97,6
Rów	0,15	5	1	0,03	3	1333	99,5
Jezioro	-	-	1,5	0,01	3	1333	99,5

Tabela VIII.3 pokazuje, że bezpośrednia emisja prowadzi do przekroczenia normy EQS w przypadku większości wybranych wód powierzchniowych. Tylko emisja ścieków do dużej rzeki prowadzi do dopuszczalnych stężeń DBPNA w wodzie powierzchniowej.

Dla potrzeb tego przykładu stężenie PEC jest obliczane przy wykorzystaniu modelu ogólnie przyjętego w Holandii. Jest on wykorzystywany przez władze wydające pozwolenia do oceny lokalnego wpływu po ogólnym określeniu BAT (połączone podejście). Model holenderski jest oparty na równaniach Fishera. Stężenie PEC jest obliczane w odległości wynoszącej 10-krotność szerokości wody odbierającej, przy czym maksymalna odległość wynosi 1000 m (dla jezior w odległości równej ¼ średnicy).

Oczekuje się, że większość Państw Członkowskich w celu określenia stężenia PEC będzie dysponowała swoją własną metodologią lub będzie używała współczynnika rozcieńczenia dla różnych typów zbiorników przyjmujących.

Norma EQS dla DBPNA jest obliczana według metodologii, która została ustalona w załączniku V do ramowej dyrektywy wodnej. Dane przedstawione w tabeli poniżej wynikają z normy EQS dla DBPNA 7 [µg/l]. (jedno stężenie NOEC i 3 „ostre dane” prowadzą do współczynnika bezpieczeństwa 100; najniższe stężenie /100 → 7 [µg/l] [1]).

Tabela VIII.4 Dane ekologiczne DBPNA

Parametr	Stężenie
LC-50 (ryba) 96 godz	2 [mg/l]
MIC (glony)	2 [mg/l]
LC-50 (skorupiak)	0,7 [mg/l]
NOEC (ryba)	4 [mg/l]

Tymczasowe przymknięcie upustu z systemu jest dobrym sposobem optymalizacji użycia biocydów i zmniejszenia ich emisji, gdy stosowane są łatwo rozkładające się dodatki.

W poniższej tabeli przedstawiono niezbędny *czas* wymagany do redukcji emisji biocydów do poziomu normy EQS, który może być osiągnięty po emisji do wód powierzchniowych. W ostatniej kolumnie tabeli pokazano efekty zamknięcia wyrażone we wzroście stężenia soli w wodzie obiegowej.

Tabela VIII.5 Konsekwencje zamknięcia wylotu

<b>Sytuacja:</b> Bicyd DBPNA; $k=0,3[s^{-1}]$ ; $\tau_{1/2} = 2$ godziny; $C = C_0 * \exp - (Qv/V + k) * t [1]$ ; $V =$ objętość systemu [ $m^3$ ]; $Qv =$ emisja [ $m^3/godz$ ]; $t =$ czas [godz]			
Odbiornik	Wymagana redukcja [%]	Wymagany czas dla wylotu do zamknięcia [godz]	Uwagi
Średnia rzeka	80,5	3,7	Wzrost stężenia soli: współczynnik 1,2
Duża rzeka	0	0	
Mała rzeka/strumień	98,5	10,7	Wzrost stężenia soli: współczynnik 1,8
Duży kanał	83,9	4,3	Wzrost stężenia soli: współczynnik 1,2
Mały kanał	97,6	9,7	Wzrost stężenia soli: współczynnik 1,7
Rów	99,5	14,2	Wzrost stężenia soli: współczynnik 2,5
Jezioro	99,5	14,2	Wzrost stężenia soli: współczynnik 2,5

W zależności od sytuacji należy określić, czy powyższe konsekwencje dotyczące stężenia związków obojętnych (sól) są dopuszczalne. Z drugiej strony zawsze możliwe jest uprzedzenie tych konsekwencji poprzez dodatkową emisję przed dozowaniem i zamknięciem, która spowoduje niższe stężenie związków obojętnych w systemie chłodzenia.

*Dalsze działania:*

Jeśli norma EQS nie może być osiągnięta, należy rozważyć zastosowanie alternatywnych biocydów i/lub podjęcie innych działań.

Przykładowe działania obejmują:

- wstępne uzdatnianie wody chłodzącej (filtracja boczna);
- optymalizacja poprzez doskonalenie dozowania i monitorowania;
- uzdatnianie na wyjściu, np. biologiczne uzdatnianie wody spustowej.

## 14 ZAŁĄCZNIK PRZYKŁADOWY MODEL SŁUŻĄCY OSZACOWANIU EMISJI ŚRODKÓW BIOBÓJCZYCH (BIOCYDÓW) W WODZIE SPUSTOWEJ

RIZA stworzył uproszczony model służący do obliczania emisji biocydów w otwartej wieży chłodniczej z recyrkulacją [tm004, Baltus and Berbee, 1996]. Model ten zakłada, że:

- biocydy są emitowane do środowiska głównie przez upust wody, wciąganie, adsorpcję, itp.
- upust wody stanowi bardzo niewielką część wody obiegowej;
- pH i temperatura są stałe;
- przy dozowaniu szokowym natychmiast po podaniu dawki stężenie początkowe jest takie samo w całym systemie chłodniczym;
- hydroliza jest reakcją chemiczną pierwszego rzędu, a współczynnik dysocjacji jest znany;
- objętość wody oczyszczanej jest znacznie mniejsza niż objętość wody obiegowej.

Z powyższych założeń, będących pewnym uproszczeniem sytuacji rzeczywistej, wynika następujące równanie, które może być wykorzystane w celu obliczenia ilości biocydów, które zostaną wprowadzone do środowiska:

$$\text{Fracja (\%)} = \Phi_v \times 100\% / (\Phi_v + kV)$$

$\Phi_v$  = spust ( $\text{m}^3/\text{godz.}$ )

$k$  = współczynnik dysocjacji ( $\text{godz}^{-1}$ ) ( $k=0$  jeśli substancje nie dysocjują)

$V$  = objętość systemu ( $\text{m}^3$ )

Zakłada się, że różnica między 100% substancji a emitowaną frakcją ulega hydrolizie. Przy założeniu, że nie zachodzą inne reakcje chemiczne, można przyjąć, że model ten opisuje najmniej korzystny przypadek. Można oczekiwać, że w rzeczywistości procentowa emisja biocydów będzie mniejsza niż wynik uzyskany w oparciu o ten model. Należy pamiętać, że jest to tylko model pozwalający na przybliżone oszacowanie emisji, który nie dostarcza informacji o toksyczności spustu. Otrzymane substancje mogą być bardziej szkodliwe niż początkowe uzdatnianie szczególnie w przypadku biocydów mocno hydrolizowanych.

Współczynnik dysocjacji „ $k$ ” jest bardzo ważnym parametrem, ponieważ określa prędkość, z jaką biocydy znikają z systemu poprzez dysocjację. Jeśli następuje to w bardzo krótkim czasie, może opłacać się zamknąć upust wody i poczekać, aż stężenie biocydów osiągnie najniższy poziom. By zabezpieczyć system przed zasilaniem, woda w systemie powinna być odświeżana przed samym dozowaniem. Po kilku godzinach upust wody musi zostać otwarty, aby zapobiec wzrostowi stężenia soli. Oczywiście przynosi to lepsze efekty w przypadku biocydów szybko hydrolizujących, niż przy użyciu biocydów wolno hydrolizujących. Szybko hydrolizującymi biocydami są np.  $\beta$ -brom- $\beta$ -nitrostyren lub DBPNA. Wolno hydrolizującym biocydem jest np. izotiazolina.

Niektóre wyniki uzyskane przy użyciu tego modelu pokazują, że przy pH 8 i w temperaturach 25-40°C biocydy mogą zachowywać duży stopień trwałości i mogą być emitowane ze spustem wody w stężeniu przekraczającym 80%. Procentowa ilość szybko hydrolizujących biocydów w wodzie upustowej wydaje się być znacznie mniejsza (25%). Nie oznacza to jednak, że są one bardziej korzystne, ponieważ ich toksyczność lub toksyczność produktów ich dysocjacji może być bardzo wysoka i z tego powodu substancje te mogą być nawet bardziej szkodliwe dla wody odbierającej.

## 15 ZAŁĄCZNIK KOSZTY INWESTYCYJNE I EKSPLOATACYJNE WYPOSAŻENIA ORAZ ELEMENTÓW SYSTEMÓW CHŁODZENIA DLA ZASTOSOWAŃ INNYCH NIŻ W ELEKTROWNIACH

[tm001, Bloemkolk, 1997]

W niniejszym załączniku przedstawiono dane na temat kosztów dużych przemysłowych systemów chłodzenia. W praktyce ceny są bardzo zróżnicowane, co ilustrują podane zakresy kosztów. Znaczne różnice i wahania obserwuje się również w przypadku kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych dla mniejszych systemów.

Daje się zauważyć, że wyższe koszty inwestycyjne wiążą się z niższymi kosztami eksploatacyjnymi. Można też przypuszczać, że pozwalają one zmniejszyć oddziaływanie na środowisko.

Przy każdym rozwiązaniu podano koszty, jednakże obliczenia kosztów dla systemów chłodzenia wykazują dużą rozpiętość, co sugeruje, że różnice w kosztach pomiędzy poszczególnymi systemami nie muszą koniecznie wskazywać najtańszego wariantu. Bardzo istotnymi czynnikami, które ostatecznie wpływają na całkowity koszt, są wymagania użytkownika oraz wymogi prawne. Z tego powodu szacunki dotyczące rentowności systemu lub danego rozwiązania technicznego powinny być przeprowadzane indywidualnie w każdym przypadku. Ponadto należy uwzględnić ceny energii, które mają szczególne znaczenie w tych przypadkach, gdzie bierze się pod uwagę odzysk ciepła. Podane koszty odnoszą się do 1995 roku.

Istotnym aspektem przy obliczaniu kosztów systemu chłodzenia oraz możliwych udoskonaleń jest porównanie początkowych kosztów inwestycyjnych systemu (lub zastosowanej metody) z przewidywanymi kosztami rocznymi. W praktyce wysokie koszty inwestycyjne mogą prowadzić do niższych kosztów eksploatacyjnych, ale także do wyższych rocznych kosztów stałych, co może stanowić przeszkodę dla samej inwestycji. Dla celów porównania koszty powinno się wyrażać w jednostkach pojemności cieplnej, dla których system jest zaprojektowany (kW lub MW).

### Elementy i koszty

W celu obliczenia całkowitych kosztów i porównania różnych systemów, w tabeli X.1 przedstawiono kilka elementów decydujących o kosztach przy mokrych i suchych systemach chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych (innych niż w elektrowniach). Koszty te opierają się na kosztach poszczególnych części systemu chłodzenia. Opisano tam koszty referencyjne i zmiany kosztów poszczególnych części systemu chłodzenia.

### Koszty stałe

Koszty wymienników ciepła zależą od ich typu, materiału i rozmiaru. Płytowe wymienniki ciepła są tańsze niż płaszczowo – rurowe, nawet jeśli są wykonane z droższego materiału, jakim jest tytan, ale mogą pracować w mniejszym zakresie ciśnień. Skraplacze są średnio o 25% droższe niż wymienniki płaszczowo – rurowe. Materiały takie jak stal nierdzewna lub specjalne stopy CuNi są droższe niż zwykła stal (od 2 do 5 razy). Specjalne rury mogą być o 10-15% droższe.

Koszty w przypadku chłodni z przepływem powietrza zależą głównie od powierzchni wymiany ciepła i typu wentylatora. Za decydujący czynnik uważa się również wymaganą końcową temperaturę. Materiał, z którego jest wykonany wymiennik ciepła chłodzony powietrzem ma mniejsze znaczenie niż w przypadku systemów chłodzonych wodą, jednak dużą rolę odgrywa tu również korozyjność chłodzonej substancji.



Koszty kanałów i systemu rozprowadzania zależą w dużej mierze od ich średnicy, materiału i długości.

Wyposażenie wlotu i wylotu jest w ogromnym stopniu zależne od lokalizacji. O poziomie kosztów mogą decydować w szczególności długość, średnica oraz konstrukcja rurociągów zasilających i spustowych. Dla instalacji o mocy 300 MW koszty wynoszą około 13 000 euro na MW. Te koszty będą stosunkowo wysokie w przypadku mniejszych instalacji.

Mokre systemy chłodzenia są wyposażone w pompy do wody. Systemy pośrednie mają dwa obiegi wodne i z tego względu potrzebują dodatkowych pomp. Koszty inwestycyjne pomp zależą od wysokości podnoszenia, wydajności i materiału. Im czystsza jest woda chłodząca, tym mniej istotny jest dobór wymaganych materiałów.

Ceny wież chłodniczych zależą w dużym stopniu od modelu i wielkości. Może być wymagana eliminacja chmury oparów, co podnosi koszty inwestycyjne o około 1,5-2 razy. Tace ociekowe są także częścią instalacji wieży chłodniczej.

Cena wieży chłodniczej jest częściowo zależna od przeznaczonej w projekcie przestrzeni. Im mniejsza jest temperatura spiętrzenia, tym większa będzie wieża chłodnicza i związane z nią koszty, zarówno ze względu na inwestycje, jak i zużycie energii. Poniższa tabela pokazuje to na przykładzie.

### **Koszty zmienne**

Zmienne koszty systemu chłodniczego w znacznym stopniu zależą od rodzaju systemu. Najbardziej istotnymi czynnikami są (1995):

- energia (0,05-0,06 euro na kWh),
- woda powierzchniowa, wliczając opłaty, podatek i pompowanie (0,09-22 euro za m<sup>3</sup>)
- woda powierzchniowa, wyłączając pompowanie (0,09-0,11 euro za m<sup>3</sup>)
- opłaty i podatek od wody pitnej (0,4-1,4 euro za m<sup>3</sup>)
- w niektórych przypadkach stosuje się również produkty częściowo przetworzone, jak na przykład flokulowaną wodę rzeczną lub zgromadzone skropliny, których koszty są niższe od kosztów zakupu wody.

Ważnymi zagadnieniami eksploatacyjnymi wodnego systemu chłodzenia są energia potrzebna do pompowania oraz, w przypadku wież chłodniczych, dodatkowy wentylator i uzupełnianie wody. Uzdatnianie wody przyczyni się do dalszego wzrostu kosztów, co będzie zależało od zastosowanego sposobu uzdatniania w danym systemie chłodniczym. Systemy z jednorazowym przepływem wymagają tylko kontroli zanieczyszczeń biologicznych, podczas gdy systemy z recyrkulacją wymagają dodatkowo środków dyspergujących i antykorozyjnych.

Koszty operacyjne systemów chłodzenia z jednorazowym przepływem składają się głównie z kosztów energii wynikających z zastosowania wentylatora. Koszty konserwacji układów chłodzenia z przepływem powietrza stanowią tylko od 1/3 do 1/2 kosztów konserwacji systemu z wymiennikiem płaszczowo – rurowym.

### **Metodologia**

Zostały opracowane różne metody porównania kosztów pomiędzy różnymi systemami chłodzenia. Poniżej opisano dla przykładu jeden z tych sposobów; inne metody porównywania kosztów są oparte na tej samej zasadzie. Metoda ta nie jest tak dokładna, aby można ją było stosować do dokonywania dokładnych obliczeń kosztów inwestycyjnych. Jest

jednak wystarczająca do porównywania kosztów inwestycyjnych różnych systemów chłodzenia.

Dla różnych systemów muszą być uwzględniane uniwersalne współczynniki kosztów i mogą być one wyrażone jako ustalona wartość procentowa kosztów instalacji sprzętu (bezpośrednie koszty budowy, DFC - *Direct Field Costs*). Współczynniki kosztów i związane z nimi wartości procentowe w tym przykładzie są następujące:

- koszty pośrednie (5% kosztów inwestycyjnych)
- projektowanie (8% kosztów inwestycyjnych)
- nieprzewidziane (15% kosztów instalacji sprzętu)

Koszty inwestycyjne i współczynniki kosztów składają się na całkowite koszty inwestycyjne (TIC).

Koszty roczne są sumą kosztów stałych (odsetki + amortyzacja) i zmiennych (koszty eksploatacyjne). Powinno się pamiętać, że większe koszty inwestycyjne prowadzą nie tylko do większych rocznych kosztów stałych, ale mogą być przeszkodą przy samym inwestowaniu. Koszty roczne zawierają także koszty konserwacji.

### Porównanie

Opierając się o powyższe elementy zostały obliczone i porównane koszty inwestycyjne dla różnych systemów chłodzenia. Obliczono również towarzyszące im koszty eksploatacyjne. Łączne wartości są przedstawione w tabeli X.2. Przy obliczaniu kosztów rocznych musi być zastosowany okres amortyzacji o określonej stopie amortyzacji. Obliczone są również koszty eksploatacyjne. Roczne koszty konserwacji opierają się o całkowite koszty inwestycyjne (TIC).

**Tabela X.1: Składniki kosztów dla mokrego i suchego systemu chłodzenia [tm001, Bloemkolk, 1997]**

Typ kosztów	Składniki kosztów	System chłodzenia wodny	System chłodzenia powietrzny	
Stałe	Wymiennik(i) ciepła (typ, rozmiar i model)	X	x	
	Wymiennik ciepła (materiał)	X	x	
	Rurociągi procesowe, estakady	X	x	
	Pompy/ pompy rezerwowe	X	x	
	Urządzenia wlotowe	X		
	Rurociągi wlotowe / spustowe	X		
	Urządzenia przelewowe	X		
	Wieża (-e) chłodnicza (-e) (możliwość)	X	x	
	Wentylatory	X	x	
	Tłumiki hałasu	X	x	
	Systemy pośrednie (dodatkowe wymienniki ciepła, rury, pompy)	X	x	
	Zmienne	Woda (gruntowa, wodociągowa)	X	
Opłata za zrzut ścieków		X		
Monitoring przecieków		X	x	
Kondycjonowanie wody		X		
Zużycie energii (pompy i		X	x	

	wentylatory)		
	Konserwacja	X	x

Obliczenia wykazały, że poziom inwestycji i zużycie energii określają w dużym stopniu wrażliwość na koszty. Bardzo ważne są zmiany cen wymienników ciepła (płaszczowo – rurowych) wynikające z wybranego rozwiązania i użytych materiałów. Tanie materiały i typy wyznaczają obliczony najniższy poziom kosztów, a materiały specjalne poziom najwyższy. Jednocześnie nie można zapominać, że dobre materiały mogą znacznie zmniejszyć koszty pracy, konserwacji i użycia środków chemicznych.

Obliczone koszty roczne, inwestycyjne i eksploatacyjne różnią się znacząco. Mają na to wpływ takie czynniki jak zapotrzebowanie wody (uzupełnianie), jej cena i zużycie energii. Wybór materiałów także ma wpływ na roczne koszty eksploatacyjne. W przypadku stosowania systemów chłodzenia z przepływem powietrza ważna jest osiągnięta temperatura końcowa: im niższa jest wymagana temperatura końcowa, tym droższy będzie system. W przypadku wodnego chłodzenia, niska temperatura końcowa ma mniejszy wpływ na szacowanie kosztów, chyba że w obliczeniach zostaną zastosowane małe różnice temperatur końcowych.

**[tm001, Bloemkolk, 1997]**

Tabela X.2: Koszty dla mokrych i suchych systemów chłodzenia w zastosowaniach przemysłowych z wyłączeniem elektrowni (1993-1995)

System	Instalacja x 1000 (EUR/MW)	Całkowite koszty inwestycyjne (TIC) x 1000 (EUR/MW)	Czynniki określające inwestycje	Koszty eksploatacyjne x 1000 (EUR/MW)	Odsetki i amortyzacja <sup>6</sup> x 1000 (EUR/MW) na rok	Całkowite koszty roczne (EUR/MW)
Z jednorazowym przepływem	68 – 182					
(zakres 0,2- 10 MW)	34 - 91					
(zakres > 10 MW)						
dla elementów						
- wymienniki ciepła <sup>2</sup>	68 (36- 136)		-materiał, model	-energia 4,5 – 6,8		
- rury itp.	9,1 – 14		-długość, materiał	-kondycjonowanie 0,5 – 1,8		
- pompy	4,5 - 9,1		-wydajność, DP	-konserwacja <sup>5</sup> 2,7 – 7,7		
-zasilanie/spust	(9,1 - 14)'		-lokalizacja (zasilania/spustu)			
<b>Suma</b>	59 - 173	<b>77 - 227</b>		7,7 - 16	10 - 30	<b>18 - 46</b>
<b>Pośrednie z jednorazowym przepływem</b>	18 - 50 <sup>2,3</sup> (extra)		dotatkowe wymienniki ciepła			
<b>Suma</b>		<b>100 - 269</b>	dotatkowe wymienniki ciepła	10 - 19	13 - 37	<b>23 - 56</b>
<b>Z recyrkulacją z otwartą mokrą wieżą chłodniczą</b>						
(zakres 0,2- 10 MW)	59 - 136			-uzupełnienie 6,3 - 22		
(zakres > 10 MW)	45 - 68			-energia 6,5 - 13		
dla elementów				-konserwacja 2,3 - 9,1		
-wieża chłodnicza	18 - 45 <sup>4</sup>			-kondycjonowanie 1,8 - 4,5		
-wymiennik ciepła	36 - 136		-model			
- rury/ pompy	14 - 23		-materiał, model			
<b>Suma</b>	68 - 203	<b>89 - 266</b>	-materiał wymiennika ciepła	19-41	11 - 35	<b>30 - 76</b>
<b>Pośrednie z recyrkulacją z otwartą mokrą wieżą chłodniczą</b>	18 - 45 <sup>2,3</sup> (dodatkowo)		dotatkowe wymienniki ciepła	-energia 9,3 - 16		
			dotatkowe pompy	-konserwacja 2,7 - 11		
				-kondycjonowanie 1,8 - 4,5		
				-uzupełnienie 6,3 - 22		

Suma	86 - 255	112 - 331	20 - 43	14 - 43	34 - 86
------	----------	-----------	---------	---------	---------

Tabela X.2 c.d.

System	Instalacja x 1000 (EUR/MW)	Całkowite koszty inwestycyjne (TIC) x 1000 (EUR/MW)	Czynniki określające inwestycje	Koszty eksploatacyjne x 1000 (EUR/MW)	Odsetki i amortyzacja <sup>6</sup> x 1000 (EUR/MW) na rok	Całkowite koszty roczne (EUR/MW)
Układy chłodzenia z przepływem powietrza						
Bezpośrednie			temperatura końcowa <sup>8</sup>	-energia 1,4 - 5,4 -konserwacja 1,4 - 3,4 <sup>5</sup>		
<b>Suma</b>	81 - 220	<b>105 - 288</b>		2,8 - 8,8	14 - 38	<b>17 - 47</b>
Pośrednie	dotatkowo 14 - 45 <sup>2,3</sup>		temperatura końcowa <sup>8</sup>	-energia 3,6 - 8,9 -konserwacja 1,8 - 5,4		
<b>Suma</b>	95 - 266	<b>123 - 351</b>		5,4 - 14,3	16 - 46	<b>21 - 60</b>

1. patrz tekst
2. koszty dodatkowych wymienników ciepła w zależności od typu  
Ogólne współczynniki kosztów materiałów:
  - stal 1 specjalna (ze stopu Cu/Ni) 1,5 - 5,0
  - stal powlekana 1,3 - 1,7 miedź 1,5 - 2
  - nierdzewna 304/316 1,5 - 3 tytan 1,7 - 2,5
3. koszty zależne od wymienników ciepła wraz z dodatkowymi pompami i systemem rozprowadzania; często płytowe wymienniki ciepła
4. system z likwidacją chmury parowej jest o 2 - 2,5 razy droższy
5. koszty konserwacyjne 3,5%; dla chłodzenia powietrznego 1 - 1,5%
6. przypuszczalna amortyzacja przy stopie 5%, gdzie roczne stałe koszty dochodzą do ok. 13% kosztów inwestycyjnych (opłaty roczne)
7. ilość godzin pracy rocznie: 8000
8. wyższe granica cenowa dla funkcji głębokiego chłodzenia do 30° C; niższa granica cenowa: do 60° C
9. brak danych o kosztach

## 16 ZAŁĄCZNIK PRZYKŁADOWE TECHNIKI KTÓRE NALEŻY WZIĄĆ POD UWAGĘ W PIERWOTNYM PODEJŚCIU BAT DLA PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMÓW CHŁODZENIA

### 16.1 Wstęp

Istnieje wiele możliwych sposobów ograniczania oddziaływania na środowisko przemysłowych systemów chłodzenia. Zgodnie z ogólnym podejściem najskuteczniejszą metodą jest odpowiednie projektowanie i wykonywanie tych systemów. Jest to oczywiście łatwiejsze, gdy chodzi o nowe systemy chłodzenia, niż w wypadku układów już istniejących. Skuteczne ograniczenie oddziaływania na środowisko zależy od sposobu rozwiązania układu chłodzenia, jak również od warunków związanych z położeniem obiektu, np. dostępnością miejsca. Istotną rolę pełnią również takie czynniki jak zużycie energii, wymagania i koszty eksploatacyjne. W oparciu o ogólne zasady zaprezentowane w rozdziale 1 oraz stosując sposoby ograniczania oddziaływania na środowisko omówione w rozdziale 3, załącznik ten opisuje w szczegółach podstawowe techniki ograniczania oddziaływania na środowisko wraz z różnymi wariantami. Techniki te mogą być zastosowane przy optymalizacji systemów chłodzenia zgodnie z zaleceniami BAT.

Przedstawiona poniżej lista stanowi przegląd bardziej szczegółowych wiadomości o różnych technikach ograniczania oddziaływania na środowisko sporządzony przez Techniczną Grupę Roboczą (TWG) w czasie wymiany informacji o technikach BAT dla przemysłowych systemów chłodzenia. Zaprezentowano tu krótki opis każdej przedstawionej przez grupę roboczą TWG techniki, który zawiera takie informacje jak: skuteczność ograniczania (ilościową i jakościową), oddziaływanie na środowisko, ograniczenia co do wielkości obiektu, koszty i przykłady instalacji. Podobnie jak w wypadku wyboru odpowiedniej techniki chłodzenia, zastosowanie którejkolwiek z prezentowanych poniżej technik ograniczania oddziaływania na środowisko musi uwzględniać już stosowane lub planowane w przyszłości rozwiązania. W wypadku, gdy dla osiągnięcia podobnego skutku dla środowiska, możliwe jest zastosowanie różnych technik, to podstawowym kryterium wyboru powinien być ich wpływ na środowisko oraz techniczne możliwości zastosowania z uwzględnieniem kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz oddziaływania na inne aspekty środowiska. Jednak ze względu na brak dostępnych danych dla wielu opisywanych technik nie podano kosztów czy skutków oddziaływania na środowisko. Potrzebne są więc dalsze badania.

Mając na uwadze konkretne zastosowanie, należy zadbać o to, aby dana technika była możliwa do wdrożenia. Jeżeli konkretny proces technologiczny ma określony wpływ na środowisko w danych warunkach, to nie daje to gwarancji, że podobne ilościowo rezultaty zostaną uzyskane w innych warunkach. Jednak te przykładowe wyniki ilustrują możliwy kierunek pozytywnych zmian. Szczególnie w przemysłowych systemach chłodzenia bardzo zmieniają się wymagania procesów, rozmiary instalacji czy zakres działania. Ma to oczywiście wpływ na skuteczność ograniczania oddziaływania na środowisko zastosowanej techniki.

## 16.2 Oszczędności wody chłodzącej dzięki jej ponownemu wykorzystaniu

Korzystanie z wody dla celów chłodzenia jest, lub może być, całkowicie, lub chwilowo, ograniczone ze względu na jej brak spowodowany przez zmiany pór roku. W wielu Państwach Członkowskich UE przemysł podlega naciskom, w celu ograniczenia lub zoptymalizowania zużycia wody. Wymusza to często zmianę technologii i, jeżeli to możliwe, zamianę systemów chłodzenia z przelotowych otwartych na obiegi cyrkulacyjne. Może to również wymusić pracę cyrkulacyjnych wież chłodniczych przy wyższym zagęszczeniu soli w obiegu. Innym powszechnie znanym wymaganiem jest konieczność stosowania odkraplaczy w wieżach chłodniczych.

Istnieje również wiele możliwości takiego uzdatniania wody, które pozwoli na jej odzysk i ponowne wykorzystanie do chłodzenia. Ponadto istnieją naciski w celu rozszerzenia stosowania suchych systemów chłodzenia, które nie wymagają użycia wody i nie powodują związanych z tym problemów. Jednak stosowanie tego sposobu chłodzenia posiada pewne ograniczenia. Należą do nich klimat, koszty inwestycji czy ilość wymaganego miejsca.

Przegląd metod uzdatniania wyłonił następujące możliwości [tm065, Meier and Fulks 1990]:

- zmiękczenie przez dekarbonizację wapnem
- proces zmiękczenia w obiegu wody gorącej
- zagęszczacze solanki
- uzdatnianie biologiczne
- odwrócona osmoza
- elektrodializa odwracalna
- baseny wyparne

Wśród tych metod najwięcej energii wymaga odwrócona osmoza i elektrodializa odwracalna, dlatego też są one droższe od innych. Proces zmiękczenia w obiegu wody gorącej ma wysoką sprawność. Jednak wadą tej metody jest potrzeba dodatkowego chłodzenia lub odzysku ciepła. Uzdatnianie biologiczne jest stosowane w celu usunięcia z wody zanieczyszczeń organicznych. Jest ono szczególnie interesujące jako część programu uzdatniania ścieków, które mają być wykorzystane jako woda do uzupełniania [w układzie chłodzenia]. Zbiorniki wyparne w łatwy sposób pozwalają na zmniejszenie ilości ścieków. Stosowanie ich może jednak być niemożliwe ze względu na ilość wymaganego miejsca i ograniczenia w usuwaniu pozostającego szlamu.

### 16.2.1 Ponowne wykorzystanie (zużytej) wody do uzupełniania w wieżach chłodniczych [tm066, Phillips and Strittmatter,1994] i [tm064, Meier, 1990]

#### Opis:

Do uzupełniania wody w wieżach chłodniczych można wykorzystać wodę dostępną w samym zakładzie przemysłowym oraz spoza niego. Można więc wykorzystać wodę ze ścieków wytwarzanych w tym zakładzie lub ścieki z komunalnych oczyszczalni ścieków. Ważny jest chemiczny skład takiej wody. Należy przeprowadzić kompleksowe badanie wody dla uzyskania informacji o jej składzie w każdej części zakładu. Badanie takie powinno dostarczyć informacji o składzie wody w wieżach chłodniczych, stopniu zagęszczenia w ich obiegach, czasach przetrzymania, prędkości przepływów, o składzie materiałów zastosowanych do budowy instalacji, stosowanych temperaturach. Ponadto powinien być znany skład środków chemicznych używanych na bieżąco do uzdatniania oraz parametry eksploatacyjne układu. Czasami potrzebne jest filtrowanie podawanej wody. Jest wiele dostępnych metod filtracji, lecz zagadnienie to wykracza poza zakres niniejszego dokumentu.



W zależności od składu wody dobiera się odpowiednie chemiczne uzdatnianie wody w wieżach chłodniczych, które zapewni utrzymanie danej liczby cykli zagęszczania. Stwierdzono, że może spowodować to wzrost poziomu korozyjności. W niektórych przypadkach, gdzie ograniczona jest możliwość zagęszczania, można zwiększyć współczynnik zagęszczania przez zastosowanie inhibitorów zapobiegających osadzaniu kamienia, lub przez wykorzystanie takich technik jak odwrócona osmoza do usunięcia roztworów.

**Redukcje:**

Procentowe zmniejszenie zużycia wody jest silnie uzależnione od wymagań cyrkulacyjnego układu chłodzenia i dostępności wody z odzysku w danym momencie. Odnotowano nawet 15-procentowe zmniejszenie zużycia wody.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Może pojawić się konieczność usuwania odpadów, które będą efektem filtrowania wody przed jej podaniem do systemu. Metody oszczędzania świeżej wody należy rozpatrywać z uwzględnieniem ich skutków dla środowiska, w tym kosztów stosowania dodatkowych środków chemicznych koniecznych do uzdatniania wody pochodzącej ze ścieków. Chemiczne uzdatnianie strumienia wody, który ma być ponownie wykorzystywany, może być złożoną operacją, która może wymagać dodatkowej obsługi.

**Ograniczenia dla zastosowań:**

Odzysk wody jest sposobem na ograniczenie zużycia wody, który może być stosowany zarówno w nowych, jak i w istniejących instalacjach, niezależnie od ich wielkości. Jednak, gdy występuje duże zapotrzebowanie na wodę, to jej alternatywne źródła mogą okazać się niewystarczające. Zaleca się więc sprawdzenie zawartości związków organicznych (BZT), które mogą ograniczać odzysk wody.

**Koszty:**

Koszty odzysku wody są bardzo różne w zależności od konkretnego obiektu. Nie udało się dokonać żadnych uogólnień na ten temat.

**Przykłady instalacji:**

Przedstawiono przykłady wykorzystania wody ze ścieków komunalnych do uzupełniania wody w systemach chłodzenia [066, Phillips and Strittmatter, 1994]. Przykład zastosowania układu o zerowym zrzucie wody opisano w [tm064, Meier, 1990].

**Uwagi:**

Do typowych problemów, jakie można napotkać przy wykorzystywaniu strumieni odpadów, należą:

- wyższa aktywność mikrobiologiczna wynikająca z obecności rozpuszczonych składników pokarmowych;
- zwiększone ryzyko osadzania się kamienia wynikające ze zwiększonego poziomu rozpuszczonych soli;
- problemy z osadem, który jest rezultatem wysokiego poziomu żelaza i/lub zawiesin;
- problemy z korozją ze względu na wysokie całkowite zasolenie wody chłodzącej (TDS)

Sposoby skutecznego rozwiązywania wspomnianych powyżej problemów zależą od składu strumienia odpadów. Woda ze ścieków komunalnych ma bardzo różną jakość. Zwykle zawiera stosunkowo dużo amoniaku i fosforanu, przy znacznym poziomie rozpuszczonych związków organicznych. Ponadto, ścieki komunalne zwykle posiadają stosunkowo dużą twardość, co może powodować osadzanie się kamienia. Wysoki poziom żelaza i/lub zawiesin może prowadzić do

problemów z osadami. Ścieki z rafinerii mogą zawierać znaczne zanieczyszczenia olejem, smarami i zawiesinami, które mogą spowodować wzrost zapotrzebowania na biocydy utleniające.

## 16.2.2 Systemy z zerowym zrzutem wody [komentarz, D]

### Opis:

Aby wyeliminować zrzut wody z wież chłodniczych stosuje się stopniowane systemy chłodzenia. Zrzut wody z wieży pierwszego stopnia stosuje się dla utrzymania właściwego stopnia zasolenia. Woda, która posiada wysoką zawartość nierozpuszczalnych soli (soli wapiennych), jest przekształcana w taką, która zawiera duże stężenie soli rozpuszczalnych (soli sodowych). Proces ten następuje w układzie zmiękczenia/osadniku.

Potem woda zrzutowa przepływa przez zagęszczacz z membraną bezpośredniej osmozy (DO), w którym woda jest przetłaczana przez membranę do roztworu (solanki) chlorku sodu. Solanka ta jest ponownie zagęszczana w wieży drugiego stopnia, tzw. wieży solankowej, która wykorzystuje ciepło odpadowe z głównego skraplacza. Wieża solankowa ma dużo mniejszy przepływ wody niż wieża pierwszego stopnia. Typowy stosunek przepływów wieży solankowej do wieży pierwszego stopnia jest jak 1 do 750.

Zagęszczona ciecz z układu z membraną bezpośrednią (DO) jest dalej zagęszczana w małym krystalizatorze, z którego odpady stałe są usuwane poza układ. Ciecz wychodząca z krystalizatora powraca na wieżę solankową.

### Redukcje:

Odnotowano wykorzystanie wody zrzucanej z wież pierwszego stopnia na poziomie około 75%. Pozostała część wody odparowuje w wieży drugiego stopnia (ok. 16%) lub pozostaje jako wilgoć w usuwanych odpadach stałych.

Wykorzystanie ciepła odpadowego w wieżach solankowych ogranicza zapotrzebowanie na chłodzenie w wieżach pierwszego stopnia o ok. 3,5MW przy przepływie 45m<sup>3</sup>/h.

### Skutki oddziaływania na środowisko:

Uzyskano obniżone zapotrzebowanie na chłodzenie w wieżach pierwszego stopnia. Wymagana jest pewna dodatkowa ilość energii do pracy stopniowego systemu chłodzenia. Zanieczyszczenia wynikające ze zrzutu wody nie są wydalane do wody powierzchniowej, ale przekształcane w odpady stałe. Dopiero te odpady wymagają usunięcia.

### Ograniczenia dla zastosowań:

Taki system będzie skuteczny wszędzie, gdzie występują zaostrzone ograniczenia w stosunku do wydalanych ścieków. Stanowi on dobre rozwiązanie dla nowych elektrowni czy zakładów chemicznych, ale może być również zastosowany przy modernizacji istniejącej instalacji.

### Koszty:

Koszty inwestycyjne wielostopniowych systemów chłodzenia są wyższe niż układów jednostopniowych z mokrymi wieżami. Podobno koszt inwestycyjny mokrych wież chłodniczych w układzie wielostopniowym jest niższy od układu chłodzenia powietrzem o tej samej wydajności. Koszty eksploatacyjne związane z zapotrzebowaniem na energię mogą być niższe ze względu na wykorzystanie ciepła odpadowego z głównego skraplacza. Koszty pracy układów wielostopniowych i koszty usuwania odpadów stałych należy porównać ze środowiskowymi kosztami uzdatniania i usuwania ścieków.

### Przykłady instalacji:

W państwach Wspólnoty Europejskiej nie zanotowano istnienia takiej instalacji. Kilka przykładów można znaleźć w USA.

**Uwagi:**

Solanki o podwyższonej temperaturze powstające w konwencjonalnych technologiach odzysku wody (np. zagęszczacz solanki) są bardzo korozyjne. Powoduje to konieczność stosowania nietypowych materiałów i nieustannej konserwacji układu. W opisanym przykładzie bezpośrednia osmoza (DO) działa przy niskim ciśnieniu (ok. 1,5bar) i niskiej temperaturze (niższa niż 32°C), co pozwala na zastosowanie PCV (HDPE) i innych materiałów nierdzewnych wszędzie tam gdzie istnieje ryzyko wystąpienia korozji. Dalsze doświadczenia dowodzą, że krystalizator jest mniejszy, niż w układach konwencjonalnych. Oba te czynniki powodują niższe koszty eksploatacji.

Obsługa systemu jest prosta i nie wymaga specjalnego szkolenia. Nie jest wymagane stosowanie żadnego dodatkowego uzdatniania biologicznego.

W każdym przypadku trzeba jednak rozważyć, czy szkody dla środowiska spowodowane koniecznością usuwania odpadów nie przekroczą szkód ewentualnego zrzutu do wód powierzchniowych.

### 16.2.3 Baseny rozbryzgowie [tm154, Besselink et al., 1999]

**Opis:**

W przeszłości do schładzania wody używano basenów rozbryzgowych. Możliwe, że jeszcze gdzieś w Europie można spotkać takie instalacje. Obecnie prowadzi się badania nad możliwością zastosowania basenów rozbryzgowych w przemyśle w celu ograniczenia wydalania ciepła i zużycia wody. Badania na temat takiego zastosowania basenu rozbryzgowego i związanych z tym oszczędności energii w porównaniu z wieżą chłodniczą przeprowadzono w układzie o wydajności 18-21MW<sub>th</sub>. Opracowano model, który pozwala obliczyć sprawność basenu rozbryzgowego w zależności od warunków atmosferycznych, wymiarów dysz rozbryzgowych, danych charakterystycznych basenu (powierzchnia, jakość wody). Zastosowanie tego modelu powinno umożliwić poprawne zaprojektowanie basenu rozbryzgowego przy dowolnie zadanych warunkach lokalnych.

Do dysz w basenie rozbryzgowym kierowany jest cały strumień wody chłodzącej lub jego część. Rozpylenie wody ułatwia chłodzenie. Teoretycznie rozpylenie wody w basenie podnosi 36 razy sprawność chłodzenia w stosunku do stacjonarnego basenu chłodzącego. W basenie rozbryzgowym chłodzenie następuje przez odparowanie, przewodzenie i konwekcję. Parowanie jest najbardziej istotne przy wyższych temperaturach, a przewodzenie i konwekcja przy zimniejszej pogodzie. Wydajność zależy od powierzchni, warunków atmosferycznych (prędkości wiatru), dysz rozbryzgowych i charakterystyki rozbryzgu wody. Rozpraszanie ciepła w sprawnym basenie rozbryzgowym może wynosić do 722 J/m<sup>2</sup>K.

**Redukcje:**

Wyniki badań takich układów chłodzenia pokazały, że potencjalna oszczędność energii w stosunku do wież chłodniczych może wynosić 6,5kW<sub>e</sub> energii elektrycznej na 1MW<sub>th</sub> wydajności chłodniczej. Odpowiada to spadkowi emisji CO<sub>2</sub> o 38 ton na 1MW<sub>th</sub> wydajności chłodniczej rocznie.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Przy rozpylaniu wody pojawia się mgła wodna. Sprzyja ona rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń biologicznych zawartych w wodzie. Dlatego, szczególnie latem, praca basenu rozbryzgowego wymaga odpowiedniego uzdatniania wody.

**Zastosowanie:**

Brak odpowiedniej ilości miejsca może ograniczyć zastosowanie chłodzenia z wykorzystaniem basenu rozbryzgowego w zależności od wymaganej wydajności. Przy dużych wydajnościach może okazać się niemożliwe zastosowanie chłodzenia w basenie dla całego układu, ale schłodzenie chociaż części wody może już zredukować jej zużycie. W USA kilka konwencjonalnych elektrowni (do 500MW<sub>e</sub>) stosuje baseny rozbryzgowo; elektrownie atomowe stosują je jako układy chłodzenia awaryjnego.

**Koszty:**

Koszty inwestycyjne basenu rozbryzgowego są nieco niższe od kosztu wież chłodniczych, jeżeli uwzględnimy koszt zasilania w energię elektryczną i koszt zakupu gruntu. Różnica jest większa, jeśli nie uwzględnimy kosztów zakupu ziemi pod budowę. Oczywiście zależy to również od ceny gruntu.

**Tabela XI.1: Koszty inwestycji i energii na MW<sub>th</sub> wydajności basenu rozbryzgowego i wieży chłodniczej**

[tm154, Besselink et al., 1999]

Koszt	Basen rozbryzgowy	Wieża chłodnicza
Inwestycja ('000 euro/ MW <sub>th</sub> )	39 (25)	48
Energia pompowania wody do natrysku i pracy wentylatorów (kW <sub>e</sub> / MW <sub>th</sub> )	4	11
Pewność projektu (konstrukcji)	Wysoka	Wysoka
Uwaga: Wydajność: 18-21MW <sub>th</sub> Zakres chłodzenia: 32°C do 24°C		

**Przykład instalacji:**

Dow Europe, Terneuzen (Holandia)

**Uwagi:**

Pomimo, że technika ta jest już stosowana, to wciąż znajduje się na etapie badań. Rozwiązanie to może okazać się szczególnie interesujące w takiej sytuacji, gdy występujące ograniczenia ilości wydalanego ciepła, występujące w okresie letnim, mogą spowodować ograniczenie zdolności produkcyjnych elektrowni. Basen rozbryzgowy można również, wziąć po uwagę jako potencjalne rozwiązanie, w wypadku spodziewanych ograniczeń zużycia wód gruntowych.

**16.2.4 Akumulacja zimna**

[Komentarz-1, Belgia]

**Opis:**

Specjalnym rozwiązaniem dla mniejszych instalacji przemysłowych jest składowanie wody w podziemnych zbiornikach w celu jej schłodzenia. W takim wypadku woda gruntowa po wykorzystaniu i podgrzaniu, jest składowana przez dłuższy czas pod ziemią w pobliżu instalacji, gdzie następuje jej schłodzenie. Jest również możliwe schładzanie podgrzanej wody na powierzchni. W zimie woda ta jest chłodzona przy użyciu chłodnic powietrznych, składowana pod ziemią, a następnie wykorzystywana w okresie letnim. Taki sposób chłodzenia jest głównie stosowany, gdy istnieje potrzeba chłodzenia na poziomie 6 – 9°C.

**Redukcje:**

Odnotowano, że zużycie energii i koszty eksploatacyjne takiego sposobu chłodzenia są mniejsze o 40 do 80% od układu z małymi wieżami chłodniczymi.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Nieznane

**Ograniczenia dla zastosowań:**

Zastosowanie tego sposobu chłodzenia staje się atrakcyjne dla wydajności powyżej 150kW i w zastosowaniach przemysłowych jako uzupełnienie dla wież chłodniczych. Układ o wydajności kilku MW został już zrealizowany, choć na razie jest wykorzystywany w ograniczonym zakresie. Przykładami zastosowań są obiekty użyteczności publicznej i szklarnie ogrodnicze.

**Koszty:**

Nie podano

**Przykłady instalacji:**

Niedostępne

**Uwagi:**

Ta technologia jest wciąż w fazie badań. Nie odnotowano jeszcze pełnych przemysłowych zastosowań.

## 16.3 Redukcja emisji dzięki optymalnemu uzdatnianiu wody

We wstępie do części poświęconej oszczędnościom w zużyciu wody wymieniono sposoby uzdatniania wody, które można zastosować dla przygotowania ścieków w celu ich wykorzystania do uzupełniania wody w zamkniętych układach chłodzenia. Te same sposoby mogą być wykorzystane do dostosowania składu chemicznego wody ze źródeł naturalnych i równocześnie do ograniczenia do minimum konieczności stosowania złożonych programów uzdatniania. Jak już wcześniej zaznaczono, zastosowanie odpowiedniego sposobu uzdatniania w dużym stopniu zależy od składu chemicznego wody i wymagań układu chłodzenia.

### 16.3.1 Boczny obieg biofiltracji w otwartych cyrkulacyjnych obiegach wody chłodzącej [tm146, Savelkoul, 1999]

**Opis:**

Praca otwartego cyrkulacyjnego układu chłodzenia przy minimalnym zrzucie wody jest z wielu powodów opłacalna. Ograniczenie zrzutu wody powoduje jednak zwiększoną aktywność biologiczną w wodzie chłodzącej, co wymaga stosowania biocydów.

O aktywności biologicznej w wodzie, poza innymi czynnikami, decyduje przede wszystkim obecność w niej składników pokarmowych. Niezależnie od rodzaju układu chłodzenia, czy warunków klimatycznych, żywe organizmy nie będą występowały, gdy zabraknie pokarmu. Z tego powodu każdy sposób uzdatniania powinien zmierzać do ograniczenia rozwoju aktywności biologicznej przez usunięcie z wody chłodzącej rozpuszczonych składników pokarmowych. Dla skutecznego uzdatniania ważne jest przygotowanie wody do pierwszego napełnienia układu chłodniczego. W praktyce woda ta jest filtrowana, po czym poddawana częstemu i lekkiemu chlorowaniu.



Proces ten można zrealizować stosując filtr piaskowy zamontowany na rurociągu boczniowym. Filtr taki ma za zadanie wytrącić rozpuszczone składniki pokarmowe i jednocześnie przefiltrować zawarte w wodzie mikro-organizmy i roztwory. Można w ten sposób zmniejszyć zapotrzebowanie na chlor i podnieść dopuszczalne stężenie soli w obiegu.

Technikę tę można również udoskonalić przez utworzenie w filtrze piaskowym aktywnego biologicznie złoża z dużym stężeniem mikro-organizmów. Metoda ta nazywana jest bocznym obiegiem biofiltracji. Aby zachować w takim filtrze aktywność biologiczną, omija się go, gdy w układzie chłodzenia panuje wysokie stężenie biocydów (chloru), które doprowadziłoby do zaniku żywych organizmów w filtrze piaskowym, zmniejszając jego skuteczność. Gdy poziom chloru w wodzie opadnie, jest ona przepuszczana ponownie przez filtr. W praktyce wystarczy, aby woda chłodząca przechodziła przez filtr tylko raz lub dwa razy dziennie.

Ten sposób uzdatniania zastosowano w otwartym cyrkulacyjnym układzie chłodzenia o wydajności  $152 \text{ MW}_{\text{th}}$ , natężeniu przepływu wody obiegowej  $11000 \text{ m}^3/\text{h}$  i objętości obiegu  $3500 \text{ m}^3$ . W tym wypadku zastosowano dwa filtry o powierzchni filtrowania  $5 \text{ m}^2$ , ok.  $10 \text{ kg}$  zawiesiny lotnej (VSS) /  $\text{m}^3$ ,  $4 \text{ m}$  wysokości złoża filtracyjnego i piasku filtrującym ( $1,4\text{-}2,0 \text{ mm}$  i  $0,8\text{-}1,25\text{mm}$ ). Do projektu przyjęto model oparty o reakcję pierwszego rzędu usuwania składników pokarmowych ze stałą szybkością reakcji w filtrze piaskowym  $6,0/\text{godz.}$  (dla piasku  $0,8 - 1,25 \text{ mm}$ , tzn.  $3,800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) i  $4,5/\text{godz.}$  (dla piasku  $1,4 - 2,0 \text{ mm}$ , tzn.  $2,250 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ). Obniża to w znaczny sposób szybkość rozwoju organizmów w brudnej części filtra w porównaniu z wodą obiegową.

### Redukcje:

Ostateczne obniżenie poziomu emisji zależy od odpowiedniego połączenia zrzutu wody, zastosowania biocydów i zastosowania bocznego obiegu biofiltracji. Na przykład, działanie filtra piaskowego zależy od przepływu w obiegu bocznym, cyrkulacji piasku, oporu filtra i temperatury wody. Skuteczność filtra zostaje obniżona przez zwiększony przepływ wody (zwiększony opór hydrauliczny filtra) i tym samym zmniejszenie czasu kontaktu, oraz przez zastosowanie większego piasku, co oznacza obniżenie powierzchni filtracji. Wyniki wskazują na zwiększenie współczynnika zagęszczenia ( $5,0$  do  $5,5$ ) z równoczesnym ograniczeniem częstotliwości dozowania chloru do mniej niż jednego razu na dwa dni ( $0,42/\text{dzień}$ ). Oznacza to zmniejszenie zrzutu wody o  $12\%$ , zużycia wody o  $2,4\%$ , oraz zmniejszenie ilości stosowanych dodatków o  $12\%$  lub, dla otrzymania tego samego efektu, siedmiokrotne zmniejszenie ilości podawanego chloru.

Z powodu zmniejszonego dozowania chloru, ilość składników wywołujących korozję (wyrażonych w łącznej ilości chloru i siarki) pozostaje w pożądanym dla tego układu zakresie (odpowiednio maks.  $86 \text{ ppm}$  i  $77 \text{ ppm HSO}_4$ ). Wyjaśnia to zmniejszenie o  $12\%$  zrzutu wody, przez zastosowanie biofiltracji, przy tej samej korozyjności wody.

### Skutki oddziaływania na środowisko:

Podstawowym celem zastosowania biofiltracji na obiegu bocznym jest ograniczenie chlorowania wody, ale również wszystkie inne efekty oddziaływania tej metody na środowisko są uznawane za pozytywne. W zaprezentowanych materiałach nie wspomina się o dodatkowym zapotrzebowaniu na energię dla pomp wody.

Nie stosuje się oddzielnych pomp dla biofiltra, a w celu zwiększenia do maksimum jego wydajności kieruje się gorącą użytą wodę chłodzącą bezpośrednio do filtra na obiegu bocznym. Następnie przefiltrowane ścieki przepływają bezpośrednio do basenu wieży chłodniczej. Spływający strumień ciepłych przefiltrowanych ścieków de facto omija złoże wieży chłodniczej i podnosi średnią temperaturę w basenie o ok.  $0,15\text{K}$ . Powoduje to pośredni wzrost zużycia energii o  $0,5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}$  chłodzenia. Można uniknąć tej straty instalując oddzielną pompę do podawania ścieku z biofiltra na kolektor wieży chłodniczej. Wysokość podnoszenia tej pompy to ok.  $14 \text{ m}$  słw. Trzeba przepompować średnio  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  na  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  wydajności chłodniczej, co odpowiada bezpośrednio



zużyciu energii na poziomie  $0,1 \text{ kW}_e/\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$  lub  $0,25 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$  (przy 40% sprawności elektrowni). Jest to niewiele w porównaniu z podstawowym zapotrzebowaniem na energię wież chłodniczych.

Również bardzo mała jest oszczędność energii wynikająca z ograniczenia zużycia podchlorynu sodu (1 litr 15% roztworu na dzień na  $\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$  odpowiada „produkcji” przez utleniacz  $1 \text{ kW}_{\text{th}}$  dla jednej godziny na dzień na  $\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$  lub  $0,04 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$ ). Oszczędność  $0,04 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$  energii wynikająca z ograniczenia uzupełniania wody, które łączy się z 12% obniżeniem zrzutu wody, jest również nieistotna, nawet jeżeli uwzględnimy koszty podawania wody uzupełniającej.

Ogólnie różnice energetyczne wynikające z pracy biofiltra są nieistotne i wynoszą 1% energii zużytej do obsługi standardowego układu z wieżą chłodniczą, czyli  $20 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th chłodzenia}}$  (patrz tabela 3.2). Tak małe wielkości wynikają z tego, że aby uniknąć pojawiania się mikro-osadu na wymiennikach, tylko 1 do 2% strumienia wody chłodzącej jest ogólnie potrzebne do pracy biofiltra.

### Ograniczenia dla zastosowań:

Przy odpowiednim podniesieniu wydajności filtra wydaje się, że nie ma ograniczeń dla tej metody uzdatniania. Może ona być również stosowana w istniejących systemach chłodzenia.

### Koszty:

Koszty zależą od wielkości zastosowanej instalacji i od uzyskanego zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych. Koszty związane z chlorowaniem wody zostały zmniejszone o 85%. Dla dostępnych przykładów instalacji okres zwrotu inwestycji wynosił około trzech do czterech lat.

### Przykłady instalacji:

DSM, Geleen (Holandia) i Dow Benelux, Terneuzen (Holandia)

### Uwagi:

Omawiany filtr na obiegu bocznym został celowo zaprojektowany na niską skuteczność usuwania składników pokarmowych. Wynika to z wysokiej prędkości liniowej wynoszącej 25 m/godz.. Standardowa prędkość 10-14 m/godz. jest zwykle stosowana tylko przy usuwaniu zawieszin. Wysoką szybkość usuwania składników pokarmowych uzyskuje się, gdy zostanie zastosowany przeciwprądowy filtr piaskowy, a ścieki mają co najmniej 200 RLU jako ATP (=jednostka wyznaczająca ilość kolonii przez obniżenie ilości adenozyntrójfosforanu), a najlepiej 600 RLU. Jest to kryterium dla podania szokowej dawki podchlorynu sodu. Następuje to razem z wysoką prędkością liniową, która chroni przed wystąpieniem warunków beztlenowych.

Kryterium dla chlorowania w układach wodnych wież chłodniczych, bez stosowania biofiltra na obiegu bocznym, było zmniejszenie o połowę za pomocą reakcji pierwszego rzędu ilości mikroorganizmów wyrażone przez 500 do 250 RLU jako ATP (= 0,5 [1/godz.]), co zostało osiągnięte przy zastosowaniu szokowego dozowania 1 litra 15% roztworu podchlorynu sodu na  $\text{MW}_{\text{th}}$ .

Obciążenie organiczne złoża filtracyjnego osiąga 10 kg związków organicznych na  $\text{m}^3$  złoża. Ponadto, gdy wymagany czas kontaktu wynosi 10 minut, to należy przewidzieć w projekcie złożo o wysokości 4 m. Jest to jednak nadal tańsze od zwiększenia średnicy filtra. Powierzchnia filtra wynosi  $1 \text{ m}^2$  na każde  $15 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Wynika z niej natężenie filtrowanego przepływu, które wynosi  $1,7 \text{ m}^3/\text{godz.}$  na każdy  $\text{MW}_{\text{th}}$ . Wielkość ta jest niemal równa ilości odparowanej wody, która wynosi  $1,3 \text{ m}^3/\text{godz.}$  wraz z lekko obniżonym zrzutem wody przy zastosowaniu filtra, a wynoszącym  $0,3$

$\text{m}^3/\text{godz}$ . W rzeczywistości woda obiegowa wieży chłodniczej przepływa 1,7 razy dziennie przez filtr na obiegu bocznym. W ten sposób czas połowicznego rozpadu układu chłodzenia spada z 40 do 7 godzin. W tym samym czasie zrzut wody zmniejsza się o 12% wraz z ilością środków chemicznych do uzdatniania. Jednocześnie znacznie spada częstotliwość chlorowania: z 3 razy na dzień do tylko jednego razu na 2,4 dnia. Korozyjność obiegowej wody chłodzącej wyrażona w ilości chloru i siarki pozostaje na tym samym poziomie.

W oparciu o ten model można uznać, że dla większości istniejących w Europie układów wież chłodzących, 1 do 2 razy dziennie przez filtr będzie przepływać podgrzana woda w ilości równej napełnieniu wież. Równocześnie przez godzinę dwa razy w tygodniu będą podawane szokowe dawki biocydów utleniających. Przedstawiając to w jednostkach, przewiduje się że, tylko  $1 \text{ m}^2$  powierzchni filtra na  $15\text{MW}_{\text{th}}$  oraz 4 m wysokości filtra zapewnią w większości przypadków wielominutowy czas przebywania. W większości sytuacji zmniejszenie zużycia wody i środków chemicznych pozwala na uzyskanie 3 - 4 letniego okresu zwrotu kosztu inwestycji w filtr na obiegu bocznym. Można się spodziewać, że inne materiały filtrujące, jak bazalt, pozwolą zbudować mniejsze filtry w przeliczeniu na  $\text{MW}_{\text{th}}$ .

### 16.3.2 Metody fizyczne

W układach chłodzonych wodą mogą być zastosowane urządzenia do czyszczenia będące częścią instalacji (o działaniu ciągłym), takie jak układ czyszczący z kulkami z pianki lub szczotkami, lub również urządzenia zainstalowane poza instalacją, jak na przykład dysze zasilane wodą pod ciśnieniem i strzelanie przez rurki skraplacza. Im skuteczniejsze jest czyszczenie układu, tym istnieje mniejsze zapotrzebowanie na środki chemiczne dla uzdatniania wody. Dzieje się tak nie tylko dlatego, że powierzchnia [wymywników] jest mechanicznie oczyszczona, ale również ponieważ stosowanie dodatków do wody jest bardziej skuteczne, gdy mają one lepszy kontakt z [zabezpieczoną] powierzchnią. Ustalono, że program zapobiegania makro-osadom można rozpocząć od czyszczenia mechanicznego.

Czyszczenie powietrznych układów chłodzenia ogranicza się jedynie do powierzchni lamel. Zaleca się czyszczenie bloków lamelowych dla zachowania ich wydajności cieplnej (i tym samym ograniczenia emisji pośrednich) i zwiększenia trwałości.

Fizyczne metody zwalczania makro-osadzania i związane z tym doświadczenia z przemysłu przedstawiono w tabeli XI.2.2. [005, Van Donk and Jenner, 1996]

- Ograniczanie wciągania/porywania do układu osadów biologicznych. Kolektor wlotowy powinien być tak skonstruowany, aby następowało w nim jak najmniejsze wciąganie ryb, odpadków, materiałów organicznych i nieorganicznych oraz zawiesin. Dodatkowo w otwartym układzie cyrkulacyjnym, można zastosować filtr na obiegu bocznym.
- Utrzymywanie odpowiednio wysokich prędkości przepływu, tak aby nie dopuścić do zalegania osadów organicznych (prędkość wyższa niż 2 m/s). Jednak, zbyt duża prędkość może grozić zwiększoną korozją. Krytyczne prędkości są ściśle zależne od zastosowanych materiałów.
- Gwałtowne podnoszenie na kilkadziesiąt minut temperatury wody chłodzącej powyżej  $40^\circ\text{C}$ ; ta technika eliminuje przyczepione do powierzchni organizmy (małże), ale wymaga odpowiedniego zaprojektowania układu chłodzenia (recyrkulacji wody chłodzącej). Powoduje to jednak obniżenie wydajności chłodniczej układu. Gdy ze względu na proces technologiczny niemożliwe jest takie podniesienie temperatury, to technikę tą można stosować tylko w czasie przestojów.

- Stosowanie nietoksycznych powłok i farb, które ograniczają przyleganie organizmów, wzmacniają skuteczność zwiększenia prędkości przepływu i ułatwiają czyszczenie.
- Stosowanie technologii [ultra]dźwiękowej. Rozchodzący się dźwięk wywołuje drgania, których energia usuwa z powierzchni przyczepione osady, „strząsając” je.
- Szok osmotyczny. Ta fizyczno-chemiczna metoda stosowana jest w układach na słodką i morską wodę, a polega na zamianie rodzaju wody odpowiednio z morskiej na słodką i odwrotnie. W rezultacie komórki organizmów są poddawane efektowi ciśnienia wewnętrznego, który może spowodować ich śmierć.

**Tabela XI.2: Fizyczne metody uzdatniania ograniczające do minimum stosowanie biocydów (na podstawie [tm005, Van Donk and Jenner, 1996])**

Technika	Stosowane urządzenia	Dostępne doświadczenia	Możliwości /Ograniczenia
Filtracja/wstępna obróbka wody	Dla makro-osadów: kraty bębnowe, kraty taśmowe, łapacze zanieczyszczeń, sita przed muszlami	Tak, w elektrowniach	Dla przelotowych i cyrkulacyjnych obiegów chłodzenia wody
	Dla mikro-osadów: bębny obrotowe i filtry piaskowe	Tak, w przemyśle chemicznym	Nie dla dużych obiegów przelotowych
	Dla mikro-osadów: filtry samooczyszczające ciągłego działania (50-100 $\mu$ m)	Tak, w zakładach odsalania wody	Dla przepływów wody powyżej 4 m <sup>3</sup> /s
Filtracja na obiegu pobocznym	Szybkie filtry piaskowe Filtry samooczyszczające ciągłego działania	Tak, w przemyśle chemicznym Tak, w hutach szkła	Tylko układy cyrkulacyjne Wszystkie biocydy Filtr może się stać dodatkowym źródłem bakterii
Czyszczenie w czasie pracy układu	Kulki z pianki	Tak, w elektrowniach	Duże układy przelotowe Nie dla obiegów cyrkulacyjnych
	System szczotek i klatek (cedzaków)	Ograniczone, w przemyśle chemicznym i elektrowniach	Dla przelotowych i cyrkulacyjnych obiegów chłodzenia wody
Czyszczenie poza głównym obiegiem		Tak, w elektrowniach i przemyśle	Wymaga podwójnego obiegu lub okresowego zatrzymania układu technologicznego
Podgrzewanie	Dla makro-osadów: 38-40°C	Tak, w układach na słodką i słoną wodę	Metoda może być zastosowana w nowych instalacjach, wymaga specjalnego projektu; Alternatywa dla biocydów
	Dla mikro-osadów: 70-80°C	?	
Powlekanie i malowanie	Powlekanie toksyczne	Różne	Oparte o cynk i miedź, zastosowanie może być ograniczone do mikro- czy makro-osadów

	Powlekanie nietoksyczne	Elektrownie w U.S.A.	Dla nowych układów; uwalniające osady, oparte o silikon i wrażliwe
Światło ultra fioletowe (U.V.)		Próby na małą skalę	Prewencyjna technika ochrony cyrkulacyjnych obiegów wodnych uzupełniająca w stosunku do chemicznej kontroli powstawania osadów biologicznych
Technologie ultradźwiękowe		Nie, wyłącznie wyniki badań doświadczalnych	Wysokie koszty energii
Obróbka wody prądem elektr.	Transformatory wysokiej częstotliwości	Nie, tylko wyniki badań doświadczalnych	Wyniki testów w małych układach przemysłowych
Szok osmotyczny		Tak, w układach przelotowych	Materiały powinny być odporne na korozję Układy na wodę słodką mogą skorodować, jeżeli będą zasilane wodą morską

### 16.3.3 Optymalizacja użycia biocydów

#### 16.3.3.1 Monitorowanie

[tm005, Van Donk and Jenner,1996]

Dla monitorowania mikro-osadów korzysta się z techniki liczenia płytek i pomiaru ATP.

Dla monitorowania makro-osadów stosuje się odsłonięte panele lub szklane okna. Osadzanie kamienia i korozja oddziałują pośrednio na zużycie biocydów i dlatego obserwacja efektów może być również ważna dla pomiaru bio-osadu. Przykładami technik monitorowania podanymi w materiale źródłowym są KEMA Biofouling Monitor<sup>®</sup> i robot wyposażony w podwodne wideo, który jest używany do wykrywania makro-osadów i badania skutków działania biocydów. Dla bardziej dokładnych pomiarów mikro-osadów i oceny działania biocydów, stosuje się takie techniki jak pomiar otwarcia zaworu czy pomiar emitowanego przez mikroorganizmy światła, które jest efektem przemian metabolicznych. Obie te techniki podano jako przykład dla zilustrowania zasady, jednak na rynku jest dostępnych wiele innych technik.

#### 16.3.3.1.1 Monitorowanie makro-osadów

[tm157, Jenner et al., 1998]

Aby móc wyznaczyć dawkę biocydów, która zwalczy makro-osady w przepływowym obiegu otwartym, opracowano tak zwany układ monitorowania bio-osadów. KEMA Biofouling Monitor<sup>®</sup> składa się z zamkniętego cylindrycznego zbiornika wykonanego z PCV, z pionowym przepływem wody z góry do dołu. Może być stosowany do monitorowania makro-osadów organicznych w układach na wodę słodką, lekko zasoloną i morską. Pozwala na bezpośrednią obserwację osadów małży w odstępach tygodniowych lub miesięcznych. Osady są to przepoczwarczone larwy w ostatnim stadium larwalnym małż. Dla uzyskania odpowiedniej informacji o rozwoju makro-osadów w układzie chłodzenia zaleca się usytuowanie jednego urządzenia do monitorowania bio-osadów na wlocie przed punktem dozowania, a następnego w krytycznym miejscu układu za punktem dozowania.

Jeżeli zostanie ono zainstalowane równoległe do kanału wody chłodzącej na obejściu, to urządzenie to stanie się skutecznym narzędziem do wykrywania wszystkich makro-osadów w układzie chłodzenia. Prędkość wody przepływającej przez urządzenie monitorujące jest znacznie mniejsza niż w układzie. Zapewnia to optymalne warunki do osadzania się poczwerek kolonii małży, oraz pozwala na łatwe sprawdzenie czasu pojawienia się i wzrostu oraz sprawdzenie skuteczności pomiarów kontrolnych. W oparciu o te informacje można ograniczyć stosowanie biocydów tylko do okresów, gdy jest to naprawdę niezbędne. Dalsze badania nad zachowaniem się organizmów mogą wskazać stężenie, w jakim należy dozować biocydy.

Stosowane są również inne techniki pomiaru, takie jak zanurzenie płytek w pobliżu kanałów wlotowych. Wskazują one użytkownikowi instalacji okresy, gdy chlorowanie nie jest potrzebne.

### **16.3.3.1.2 Ocena aktywności biologicznej i działania biocydów poprzez znakowanie biocydów [tm096, McCoy et al., 1995]**

Układ do pomiarów metodą wskaźnikową składa się z analizatora, urządzenia do gromadzenia danych [pomiarowych], oprogramowania do analizy tych danych, czynnika luminescencyjnego. Analizator mierzy strumień światła wydalanego przez mikro-organizmy. Dzięki tej metodzie pomiarów można w kilka minut określić stężenie biocydów i aktywność biologiczną wody chłodzącej. Metoda ta opiera się na badaniu zjawiska bioluminescencji aktywnego składnika biocydu. Ma ona na celu zoptymalizowanie wykorzystania nieutleniających biocydów w wodzie obiegowej układu chłodzenia poprzez pomiar ich zużycia.

### **16.3.3.2 Dozowanie biocydów**

#### **16.3.3.2.1 Różne metody uzyskania optymalnego całkowitego rocznego wykorzystania utleniaczy dla zapobiegania mikro- i makro-osadom w otwartych przepływowych układach chłodzenia**

Aby uniknąć występowania mikro- i makro-osadów w otwartych przepływowych obiegach wody chłodzącej, można stosować różne metody obróbki wody. Do tych metod należy chlorowanie prowadzone z małym stężeniem w sposób ciągły, półciągły lub nieciągły, oraz chlorowanie szokowe prowadzone dwa razy dziennie przez półgodziny, stosowane tylko miejscowo w części wymiennika ciepła lub układu chłodzenia, jak również chlorowanie pulsacyjne i pulsacyjne ze zmienną częstotliwością. Wymienione metody mają przede wszystkim na celu uzyskanie i utrzymanie wysokiej sprawności układu chłodzenia. Przez cały rok zachowują one w czystości powierzchnię wymienników ciepła, jak również ograniczają do minimum negatywny wpływ na środowisko [stosowania biocydów].

Ocenę wpływu chlorowania na środowisko można rozdzielić na dwie główne kategorie: ocenę oddziaływania utleniaczy i nieutleniaczy. Różnią się one ryzykiem toksycznego skażenia środowiska wyrażonego trwałością danego czynnika, stopniem odkładania się w środowisku (bioakumulacji) i toksycznością w stosunku do organizmów żyjących w wodzie. Środki nieutleniające się jak węglowodory chlorowane są bardzo trwałe i niektóre z nich odkładają się w tkance tłuszczowej organizmów żyjących w wodzie, jak również wykazują chroniczne toksyczne działanie mutagenne i rakotwórcze. Środki utleniające się reagują dosyć szybko z utleniaczami i ich osad można usunąć tylko po dozowaniu nad-stechiometrycznym. W takich warunkach dozowanie to daje bardzo toksyczny rezultat nawet przy małym stężeniu, ale bez odkładania się w środowisku wolnych utleniaczy.

Silna toksyczność w obrębie układu chłodniczego jest wskazana dla utrzymania w czystości powierzchni wymienników ciepła, ale nie jest wskazana na wylocie wody z układu.

Nawet jeżeli chlorowanie ciągłe przy małych stężeniach posiada znacząco niski stosunek PEC/PNEC, to do głównych zagadnień dotyczących oddziaływania na środowisko tej metody, należy obniżenie tworzenia się węglowodorów chlorowcopochodnych, zwanych produktami ubocznymi chlorowania. Powstają one w wyniku nieskutecznego wykorzystania masy utleniacza. Jednakże ciągły, czy regularny, pomiar występowania tych składników jest trudny, a ponadto nie są one silnie toksyczne. Dlatego też, skuteczność obróbki wody jest kontrolowana poprzez ocenę występowania wolnych utleniaczy. Sposób ten można również wykorzystać do prowadzenia pomiarów ciągłych. Wszystkie utleniające sposoby obróbki wody posiadają generalnie ciągły



miar wolnych utleniaczy, co jest konieczne do kontroli procesu. Jednocześnie wody naturalne posiadają minimalny zakres wykrywania z progiem na poziomie około 0,1 mg/l (+0,05 mg/l), który zależy od zastosowanej techniki analizy i jest związany z ilością innych składników występujących w wodzie, które nie mają bezpośredniego wpływu na sposób obróbki wody. Chlor jak inne utleniacze nie jest selektywny ani specyficzny. Wchodzi w reakcje z wszystkimi utleniającymi składnikami występującymi naturalnie w wodach. Dlatego też, jeżeli weźmiemy dodatkowo pod uwagę [wymieniony powyżej] próg analizy, wyjaśnia to, że odnotowano dobre wyniki uzdatniania przy ilości wolnych utleniaczy przed skraplaczami na poziomie co najmniej 0,2 mg/l.

Wytwarzanie węglowodorów chlorowcopochodnych odbywa się niemal liniowo w stosunku do masy dozowanego środka utleniającego niezależnie od sposobu obróbki wody.

Jeżeli porówna się obróbkę ciągłą i nie ciągłą z niskim stężeniem, to wydaje się, że obróbka nieciągła (z większą masą utleniacza) daje wyższe dające się zmierzyć stężenia chlorowcopochodnych produktów ubocznych. Jeżeli w bilansie ich masy uwzględni się również te okresy, gdy zatrzymane jest dozowanie, to wydzielana w ciągu roku masa [produktów ubocznych] dla uzdatniania nieciągłego jest nawet mniejsza niż przy uzdatnianiu ciągłym z niskim stężeniem. Faktycznie jednak, na minimalną wymaganą ilość utleniacza nie wpływa sposób obróbki wody, ale jej jakość. Aby skompensować krótszy czas kontaktu w wypadku chlorowania nieciągłego, dla uzyskania takiego samego rezultatu uzdatniania, potrzebne jest wyższe stężenie początkowe wolnych utleniaczy. Nie oznacza to jednak, że wzrośnie ilość rocznego zapotrzebowania na utleniacze i tym samym ilość wydalanych chlorowcopochodnych produktów ubocznych. Ze względu na mieszanie się ścieków z wodą przyjmującą następuje gwałtowne obniżenie działania utleniaczy i ich toksyczności oraz zmniejszenie ilości wytwarzanych chlorowcopochodnych produktów ubocznych.

O skuteczności danej metody uzdatniania decyduje poziom chwilowej silnej toksyczności, dostępność i ilość składników pokarmowych w wodzie, zubożanie stopnia filtracji przez organizmy żerujące na filtrze, jak ostrygi i małże.

Rejony między komorą pomp a wymiennikami, jak również martwe obszary układu, należy okresowo poddawać działaniu silnych środków toksycznych przed zarastaniem rurociągów, kanałów i wymienników. Aby osiągnąć ten sam efekt można zastosować krótki czas działania środka przy wyższym stężeniu lub mniejsze stężenie przy wydłużonym czasie działania.

Wszystkie utleniające metody uzdatniania polegają zasadniczo na takim oddziaływaniu na organizmy żerujące na filtrze jak muszle i ostrygi, które ogranicza przyjmowanie przez nie pokarmu. Ponadto metody te generalnie osłabiają osadzania się i rozwój kolonii mięczaków przez wstrzymanie przez dłuższy czas otwierania muszli. Jeżeli zostaną zmuszone do zamknięcia muszli, dzięki naturalnemu mechanizmowi obronnemu, to ich organizmy przestawią się na metabolizm beztlenowy, żywiąc się ze zgromadzonych rezerw pokarmu. W zależności od ich stanu i temperatury wody, mogą one przetrwać w ten sposób nawet kilka miesięcy. Dzięki kolejnemu mechanizmowi obronnemu ikra i młodsze jednostki mogą również unikać tych warunków, przez nieosadzanie lub odczepianie swojej odnogi. Tłumaczy to potencjalną nieskuteczność w niektórych rejonach, gdzie będą stosowane nieciągłe metody podawania środków.

Korzystne warunki dla osadzania i rozwoju ikry występują w wodach eutrofizacyjnych występujących w pewnych rejonach przybrzeżnych i portach. Im wyższa (w pewnych granicach) jest temperatura tych wód, tym lepsze warunki rozwoju. Z tego powodu uważa się ogólnie, że chlorowanie nie jest potrzebne, tam gdzie w niskich temperaturach wody (12°C) brakuje pokarmu. Jednak w pewnych rejonach tym progiem jest 10°C, ze względu na dużą dostępność pokarmu nawet przy tak niskich temperaturach.

Wszystkie te warunki pozwalają określić, dla wybranych odstępów czasu między dawkami, wymagane stężenie wolnych utleniaczy mierzone przed lub bezpośrednio za wymiennikami.

Ciągła i nieciągłe metody uzdatniania charakteryzują się różnymi poziomami chlorowania. Dla większości wód, jeżeli dla ochrony przed tworzeniem się osadów stosuje się w pobliżu układu pomp chlorowanie ciągłe z niskim stężeniem, to przed wymiennikiem ciepła należy utrzymywać ilość wolnych utleniaczy (FO) na poziomie 0,3 mg/l. Daje to w rezultacie poziom 0,2 mg/l na wylocie [z układu]. Taki wynik jest oczekiwany w wodzie chłodzącej przez okres 15 minut. Jednakże w wodach bogatych w składniki pokarmowe znaczna ilość tworzonych bio-osadów, zmusza do zastosowania wyższych stężeń [FO] na wlocie i w konsekwencji na wylocie z układu. Aby [chlorowanie było] skuteczne mogą one osiągnąć sporadycznie poziom 0,7 mg/l na wylocie.

Nieciągłe chlorowanie z niskim stężeniem w wodnym układzie chłodzenia z idealnym przepływem tłokowym będzie wymagało, dla uzyskania tego samego rezultatu, wyższego poziomu wolnych utleniaczy (FO) przed wymiennikiem, do 0,5 mg/l. Taki sposób chlorowania spowoduje automatycznie okresowo wyższy poziom FO na wylocie. W czasie tego zwiększonego dozowania utleniaczy wystąpi zwiększone chwilowe wytwarzanie nierozpuszczalnych węglowodorów chlorowcopochodnych. Rzadko stosuje się dozowanie szokowe z małą częstotliwością ze względu na małą skuteczność tej metody w wypadku małż. Organizmy te wykorzystują w pełni długi okres między dawkami dla przetrwania. Generalnie okresowe metody dawkowania w wodach bogatych w składniki pokarmowe są jedynie skuteczne, gdy dawkowanie to jest powtarzane odpowiednio często, tak aby zmniejszyć do minimum zdolność małż do odnowy. Jeżeli odstępy między dawkami są mniejsze od półgodziny to takie chlorowanie nazywa się pulsacyjnym. Organizmy żywe będą odczuwały takie dawkowanie jako ciągłe, ponieważ odstępy między znacznymi dawkami utleniaczy będą za krótkie dla odzyskania sprawności przez małże i ostrygi. Czas między dawkami ma większe znaczenie dla zachowania się tych organizmów niż stężenie wolnych utleniaczy, o ile stężenie to jest wciąż wystarczające, aby wywołać efekt początkowego stresu u małż.

Nawet jeżeli cały układ chłodzenia nie jest idealnym układem z przepływem tłokowym, to można w nim z powodzeniem zastosować metodę nawet częstszego dozowania nazywaną chlorowaniem pulsacyjnym ze zmienną częstotliwością (XI.3.3.2.2). Wykorzystuje ona w pełni dostępność odtleniaczy występującą w tej części wody chłodzącej, która zostanie zmieszana z wcześniej chlorowaną wodą chłodzącą zaraz przy wylocie z systemu. Ważne jest, aby ta część utlenionej wody chłodzącej posiadała różny czas przebywania w układzie i aby dotarła w różnym czasie do niechlorowanej wody chłodzącej, która wciąż zawiera odtleniacze. Przez skrócenie czasu dozowania do trzech czwartych czasu przebywania w mechanicznym układzie wodnym, powstanie w rejonie wylotu z układu podstechiometryczna mieszanina utleniaczy i odtleniaczy (reduktorów). W tym samym czasie powstaną nadstechiometryczne warunki między utleniaczami a odtleniaczami między punktem dozowania a rejonem mieszania się różnych strumieni wody chłodzącej.

Podsumowując, dozowanie pulsacyjne (również ze zmienną częstotliwością) zmniejsza roczne zużycie środków dodawanych do wody i jest szczególnie skuteczne w zwalczaniu makro-osadów. Jednakże, może powodować znaczne, przekraczające dopuszczalne wartości, chwilowe stężenia wolnych utleniaczy na wylocie z układu chłodzenia.

### 16.3.3.2.2 Chlorowanie pulsacyjne ze zmienną częstotliwością w otwartych układach chłodzenia z jednorazowym przepływem

[tm153, Paping et al., 1999], [tm168, De Potter et al., 1996], [tm169, De Potter et al., 1997], [tm170, De Potter and Polman, 1999], [tm171, Polman, 2000]

#### Opis:

Zostało opracowanych wiele sposobów uzdatniania dla istniejących przelotowych układów chłodzenia wodą morską o przepływach od 11 m<sup>3</sup>/h, które zastosowano w praktyce, jako część zintegrowanego systemu („kompletnego systemu uzdatniania”). System składa się z 200 wymienników ciepła (w większości wykonanych z miedzioniklu 90/10 i powlekaney stali węglowej) połączonych przez 4 km głównych kanałów. W większości przypadków awarie systemu były wynikiem uszkodzenia węzownic na skutek korozji kawitacyjnej (65%). Wspomniane powyżej sposoby mogą ograniczyć liczbę przypadków nieszczelności i jednocześnie ograniczyć ilość stosowanych biocydów. W opisywanym przypadku, jako ochronę przed osadzaniem, zastosowano dozowanie podchlorynu. Na podstawie wieloletnich praktycznych doświadczeń zostało stwierdzone, że jest to najbardziej odpowiedni biocyd dla tego rodzaju systemów i jakości dostępnej [powszechnie] wody chłodzącej. Dlatego też, nie rozważano zastosowania żadnego innego biocydu.

Udało się zoptymalizować zużycie biocydów przez zastosowanie różnych poziomów stężeń. Określono stopień oddziaływania na środowisko różnych sposobów dozowania na podstawie pomiarów i porównań produktów ubocznych chlorowania (w większości bromoformu) i powstającej potencjalnej toksyczności. Skuteczność tych metod określono na podstawie:

- ilości przypadków przecieków spowodowanych przez małże,
- wielkość rozwoju biologicznego (związanego z makro-osadami)
- zachowania się ostryg

W oparciu o te obserwacje odpowiednio usprawniono poszczególne metody obróbki. Należy zwrócić w tym miejscu uwagę na wykorzystanie wiedzy o lokalnym biotopie. Wiedza ta jest istotna dla osiągnięcia odpowiedniej dokładności uzdatniania i oceny jej skutków.

#### Redukcje:

Wyniki optymalizacji pokazują, że początkowy wzrost ilości podchlorynu (dozowanie A) nie spowodował od razu zmniejszenia ilości wycieków, ale pozwolił prawie całkowicie zlikwidowanie makro-osadu w układzie. Zaobserwowano to w punktach monitorowania małż. Gdy układ został już oczyszczony, w kolejnych latach zredukowano poziom podchlorynu (dozowanie B i C) usuwając całkowicie makro-osady i ograniczając do zera ilość nieszczelności. Zastosowany sposób postępowania pozwala utrzymać odpowiedni poziom wolnych utleniaczy (FO). Jest to możliwe dzięki znajomości cyklu życia organizmów tworzących makro-osad, miejsc występowania mikro-osadów, zmieniających się czasów przebywania i prędkości przepływu wody w różnych miejscach układu chłodzenia.

Przez utrzymywanie niskiego stężenia utleniaczy przez dłuższy czas można zapobiec osiadaniu i rozwojowi małż w kanałach dystrybucyjnych. Krótkotrwałe zmienne dozowanie w pobliżu wymienników ciepła prowadzi do chwilowych wzrostów stężeń i pozwala na kontrolowanie mikro-osadzania. Dozowanie nadstechiometryczne stosuje się do ścieków w miejscach, gdzie następuje gwałtowne zmniejszenie prędkości, tworzenie martwych stref. Wyniki badań zostały podsumowane w tabeli poniżej.

**Tabela XI.3: Wpływ stosowania zoptymalizowanej metody dozowania na ilość nieszczelności spowodowanych przez małże.**  
[tm153, Paping et al., 1999]

Okres	Metoda	Ilość nieszczelności spowodowanych przez małże.		Podchloryn (tony metryczne /rok)
		Układ 1	Układ 2	
1 rok	A	28	4	1222
2 rok	A	28	12	2095
3 rok	A+B	32	10	2817
4 rok	B	16	1	2480
5 rok	C	0	2	1994
6 rok	C	0	0	2013
7 rok	C + freq.	1	0	1805
8 rok	C + freq.	0	0	1330

C + freq. = metoda C ze zwiększoną częstotliwością dawkowania (np.. 5-minutowe dozowanie co 20 minut)

Jeszcze bardziej ukierunkowanym dozowaniem jest chlorowanie pulsacyjne ze zmienną częstotliwością, które bierze pod uwagę zmiany czasów przebywania w różnych częściach procesu (XI.1). W różnym czasie i w różnych miejscach podaje się wymagane dawki chloru uwzględniające charakter strumienia wody chłodzącej w różnych miejscach procesu. W instalacjach, w których tylko jeden ze strumieni wody chłodzącej jest chlorowany a drugi nie, zmniejszona jest ilość wolnych utleniaczy (FO) i możliwe jest osiągnięcie poziomu emisji niższego niż 0,1 mg/h.

#### **Skutki oddziaływania na środowisko:**

Znaczące obniżenie ilości awarii wymienników ciepła zmniejsza czas potrzebny na ich konserwację i wynikające z tego postoje produkcji. Czystsze wymienniki poprawiają chłodzenie i ograniczają emisje z procesu produkcyjnego.

#### **Ograniczenia dla zastosowań:**

Ta metoda obróbki wody nie może być stosowana w przepływowych otwartych układach chłodzenia bez zmiennego czasu przebywania wody chłodzącej.

Optymalizacja odstępów między dawkami wymaga dokładnego monitorowania poziomów wolnych utleniaczy w układzie wody chłodzącej i wymaganych obserwacji zanikających małż.

#### **Koszty:**

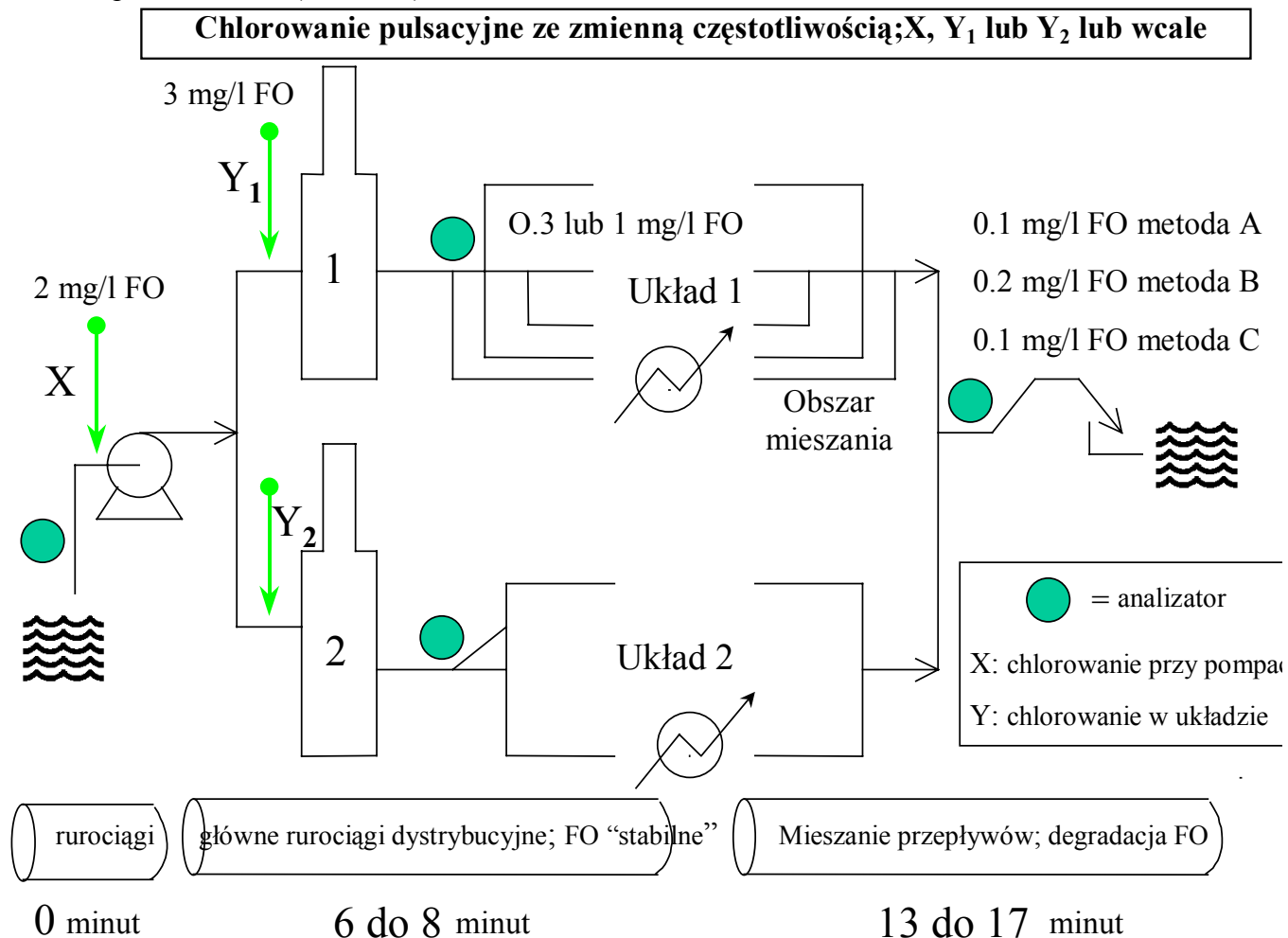
Koszty badań przez pierwsze 5 lat wyniosły 1 milion EUR. Pierwsza instalacja dozowania kosztowała 0,2 miliona EUR, a dalsze modyfikacje kosztowały kolejne 0,2 miliona EUR. Osiągnięto roczny okres zwrotu tej instalacji dozowania przy uwzględnieniu następujących kosztów:

- zmniejszenie rocznych kosztów konserwacji i zużycia podchlorynu sodu,
- zwiększone roczne koszty konserwacji zapobiegawczej i planowej oraz koszty analiz [chemicznych].

Koszty te nie obejmują kosztów prowadzonych badań, ponieważ te pozwoliły zdobyć podstawową wiedzę o pulsacyjnym chlorowaniu ze zmienną częstotliwością w otwartych przelotowych układach chłodzenia.

#### **Przykład instalacji:**

Dow Europe, Terneuzen (Holandia)



**Rysunek XI.1 Zoptymalizowane dozowanie podchlorynu (chlorowanie pulsacyjne ze zmienną częstotliwością) z uwzględnieniem osadzania i charakterystyki układu chłodzenia**  
 Na podstawie [153, Paping et al., 1999]

### 16.3.4 Alternatywne metody uzdatniania wody chłodzącej

W tej części dokumentu opisano inne techniki uzdatniania wody chłodzącej w tym metody bez użycia środków chemicznych, jak również metody z użyciem alternatywnych środków chemicznych lub ich kombinacją. Jak już wcześniej wspomniano właściwe monitorowanie może ułatwić bardziej skuteczne dozowanie środków chemicznych, co spowoduje zmniejszenie ich zużycia i równocześnie pozwoli zmniejszyć ilość awarii [układu chłodzenia].

#### 16.3.4.1 Ozonowanie

[tm032, Zimmermann and Hamers, 1996], [039, Strittmatter et al., 1996], [tm084 Rice and Wilkes, 1992], [tm096, Mc Coy et al 1990], [131, Dziobek, 1998] oraz [tm156, Schmittecker, 1999]

#### Opis:

W dziedzinie ozonowania wody pitnej zdobyto już bardzo duże doświadczenie. W Niemczech i Stanach Zjednoczonych stosowano też już wielokrotnie ozon w zamkniętych obiegach wody chłodzącej. Ozon jest silnym utleniaczem, silniejszym niż dwutlenek chloru, który zaś jest silniejszy od podchlorynu sodu. Ozon bardzo łatwo wchodzi w reakcje z praktycznie wszystkimi związkami organicznymi obecnymi w wodzie chłodzącej, w efekcie czego jego poziom jest bardzo niski, albo żaden. Ozon ma również dużą potencjalną zdolność do niszczenia innych dodatków do wody chłodzącej, np. niektórych inhibitorów korozji.

Zdolność do wchodzenia w reakcje ozonu zależy od pH wody. Gdy dodaje się ozon do wody o stopniu pH wyższym niż 8, co jest często spotykane w zamkniętych obiegach chłodzenia, to rozkłada się na wolne postacie rodnikowe hydroksyl, które są silniejszymi czynnikami utleniającymi niż molekularny chlor, ale mikro-sekundowym czasie połowicznego rozpadu. Ponieważ jony bromku są obecne naturalnych wodach powierzchniowych, to wchodzi one w reakcję z ozonem tworząc kwas bromowy. Tak naprawdę nie sam ozon, a ten kwas jest rejestrowany jako ozon resztkowy. Twardość wody jest kolejnym ważnym czynnikiem, na który należy zwrócić uwagę. Zaleca się utrzymywanie jej w zakresie od 100 do 400 ppm CaCO<sub>2</sub> i chlorków poniżej 200 ppm Cl<sup>-</sup>.

#### Redukcje:

Ozonowanie ogranicza ilość mikro-osadów, które są wyrażone aktywnością mikrobiologiczną. Zmniejszenie tych osadów jest zmienne, ale można je porównać do efektów uzdatniania chlorem i bromem. Zarejestrowano ograniczenie do 90% początkowej aktywności, wyrażonej w stężeniu 20-50 kolonii na ml [tm156, Schmittecker, 1999]. Nie tylko ta ilość, ale również charakter zmian mikrobiologii wskazuje, jaka była skuteczność ozonowania. Zmniejszenie ilości tworzących kolonie organizmów można ocenić przez porównanie do ilości przy braku uzdatniania. Stężenie ozonu znajdującego się w układzie nie ma bezpośredniego wpływu na korozję ani stopień osadzania się kamienia. Stwierdzono jednak również, że stal niskostopowa i metale kolorowe łatwo korodują, gdy stężenie ozonu jest zbyt wysokie (1,0 ppm). Przy odpowiednim stężeniu ozonu metale te skorodują tylko na powierzchni. Utworzona w ten sposób warstwa korozji chroni przed dalszą korozją, a szczególnie korozją wżerową. Na przykład, korozję stali (C 1010) zmniejszono o 50% do 0,05 mm/rok, korozję mosiądzu (CuZn28Sn1) zredukowano do mniej niż 0,004 mm/rok.

W wielu różnych przykładach, gdzie stosowano ozonowanie, zaobserwowano zmniejszenie poziomu adsorbowalnych organicznych chlorowców (AOX) i ChZT (chemicznego



zapotrzebowania tlenu) w ściekach. Poziomy stężenie, jakie uzyskiwano, były niższe niż 0,01 mg/l (AOX) i odpowiednio 10 mg/l (ChZT). Wymieniony poziom ChZT uzyskano w połączeniu z dozowaniem stabilizatorów twardości.

### **Skutki oddziaływania na środowisko:**

Chociaż energia tworzenia ozonu jest wysoka, to uważa się, że zastosowanie ozonu jest bardziej akceptowalne przez środowisko niż podchlorynu, ponieważ prowadzi on do tworzenia się mniejszej ilości trihalogometanów (THMs) i ekstrahowalnych chlorowców organicznych (EOX). Ozonowanie może prowadzić do tworzenia produktów ubocznych, takich jak na przykład: bromian i bromohidryden. Jednak w porównaniu do produktów ubocznych chlorowania, przywiązuje się im mało uwagi. Jak dotychczas nie stwierdzono emisji ozonu z żadnej części układów chłodzenia.

### **Ograniczenia dla zastosowań:**

Ozon jest wykorzystywany przede wszystkim w przemyśle chemicznym i petrochemicznym i w rafineriach. W ograniczonym zakresie jest również stosowany w przemyśle energetycznym. W oparciu o ostatnie doświadczenia można spodziewać się szerszego stosowania ozonu w mniejszych instalacjach przemysłowych. Do zalet ozonowania należą:

- skuteczność
- niskie stężenie produktów ubocznych
- niska stabilność ozonu, której rezultatem jest mała lub zerowa zawartość ozonu na wylocie z układu
- redukcja ChZT i AOX

Stwierdzono, że w Stanach Zjednoczonych ozon nie jest we wszystkich przypadkach „głównym” składnikiem służącym do uzdatniania wody w układach chłodzenia, a jest raczej rozwiązaniem opcjonalnym dla ograniczonej liczby użytkowników. Ponadto nadaje się on tylko do wydzielonych układów uzdatniania wody w układach chłodzenia, które nie wymagają uzupełniającej kontroli korozji i ochrony przed osadzaniem kamienia. Ze względu na zdolność ozonu do wchodzenia w reakcje, ograniczone są możliwości stosowania innych biocydów, które mogłyby zostać natychmiast zniszczone. Jeżeli bio-osad wystąpi poza obszarem oddziaływania ozonu, to usuwanie go może nie być skuteczne.

Zaleca się używanie ozonu w bardzo czystych zamkniętych obiegach chłodzenia. Uważa się, że reaktywność ozonu, powoduje, że nie nadaje się on do układów otwartych przelotowych lub układów o długich instalacjach. Szybkość, z jaką ozon znika z układu, ilustruje przykład, w którym przy pierwszym zastosowaniu ozonu w zanieczyszczonym układzie, jego stężenie spadło poniżej progu wykrywalności po 50 metrach od punktu dozowania. Obecnie sugeruje się, aby dla obróbki wody w wieżach chłodniczych elektrowni stosować minimalne stężenie w zbiorniku wody 20 µg/l, chociaż uzyskano również pozytywne efekty przy niższych stężeniach. Uważa się, że najlepszą metodą jest ciągłe ozonowanie przy niskim stężeniu.

### **Koszty:**

Produkcja ozonu wymaga znacznej ilości energii i jest stosunkowo droga, ze względu na to, że sprawność generatorów ozonu jest bardzo niska (100g do 150g O<sub>3</sub> /1000 g O<sub>2</sub>, 10kWh/kg O<sub>3</sub>). Jednak spojrzenie na koszty ozonowania zmienia się w zależności od tego, jaka jest możliwa inna metoda uzdatniania. Na przykład porównując ozonowanie z uzdatnianiem z pomocą chloru w postaci gazowej i innymi metodami uzdatniania z wykorzystaniem chloru i bromu, stwierdzono,



że powodują one dodatkowe koszty. Należy zwrócić uwagę, w jaki sposób interpretowane są informacje na temat kosztów, gdyż mogą one nie obejmować kosztów inwestycji, a tylko koszty eksploatacji, lub odwrotnie.

**Przykłady instalacji:**

Hoechst (Niemcy), elektrownia Seraing (Belgia), elektrownia EZH-Rotterdam Capelle (Holandia) [patrz bibliografia]

**Uwagi:**

Aby osiągnąć wymagany efekt niszczenia życia biologicznego, potrzebne jest utrzymanie minimalnego poziomu ozonu. Ostatnie badania wykazują, że aby uporać się z istniejącym już w układzie zanieczyszczeniem, to początkowe stężenie podawanego ozonu powinno znajdować się w przedziale od 0,1 do 0,3 mg/l i w zależności środowiska układu, może to trwać miesiące zanim resztki ozonu zostaną wykryte w wydalanych ściekach [tm131, Dziobek, 1998]. Stwierdza się, że w 60% instalacji, ilości podawanego ozonu może zostać zmniejszona o 50% w ciągu 9 do 12 miesięcy, po których nastąpi oczyszczenie powierzchni. Ten rodzaj uzdatniania prowadzi do osiągnięcia resztkowego stężenia ozonu w zbiorniku wody chłodzącej na poziomie 0,05 mg/l. Stwierdzono również, że oczyszczenie wkładów wież chłodniczych pozwala na zwiększenie liczby cykli, co prowadzi do nawet 70% zmniejszenia utraty wody.

Miejsce dozowania jest bardzo ważne dla utrzymania odpowiedniego stężenia ozonu we właściwych miejscach układu chłodzenia. Aby uniknąć rozkładu ozonu, sugeruje się stosowanie w wodzie uzupełniającej czynnych inhibitorów i innych środków do uzdatniania wody chłodzącej, czy uzdatniania z obiegiem bocznym. Można również zastosować ozon w samej wieży chłodniczej [tm131, Dziobek, 1998].

Ozon można wytwarzać na miejscu przez poddawanie wyładowaniom elektrycznym suchego powietrza czy tlenu. Po wytworzeniu ozon powinien być wchłonięty przez wodę chłodzącą. Zgodnie z zaleceniami American Congress of Industrial Hygienists, zalecane maksymalne stężenie dla stałej obecności ozonu wynosi 0,1 mg/l [tm059, Swinnen, 1995]. W porównaniu z innymi utleniającymi biocydami ozon jest bardzo lotny. W opracowaniu [tm096, Mc Coy et al. 1990] oceniono lotność różnych biocydów w wieżach chłodniczych. Na podstawie tego dokumentu można ustalić następującą kolejność pod względem lotności: ozon > dwutlenek chloru > chloramina > kwas chlorowy > kwas bromowy, przy czym ozon jest 167 000 razy bardziej lotny niż kwas bromowy w temperaturze 20°C.

**16.3.4.2 Uzdatnianie promieniami ultrafioletowymi (UV)****Opis:**

Uzdatnianie wody w zamkniętym obiegu chłodzenia promieniami ultrafioletowymi wymaga od początku czystej wody, która pozwoli na przenikanie promieni. Może więc okazać się konieczne przefiltrowanie wody.

**Redukcje:**

Ten sposób uzdatniania jest szczególnie skuteczny latem w ograniczeniu rozwoju ameb w wodzie zrzutowej przed jej wydalaniem do rzeki.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Nie odnotowano kosztów energii.

**Ograniczenia dla zastosowań:**

Ze względu na brak trwałego, pozostającego w wodzie, oddziaływania promieni ultrafioletowych, jeżeli nie zastosowano odpowiednich dodatkowych środków, zaobserwowano w nasłonecznionych miejscach rozwój alg. Aby tego uniknąć, konieczne jest stosowanie tych dodatków lub utrzymywanie w czystości zbiornika wody, tak aby nie gromadził się w nim szlam, w którym może nastąpić rozwój życia biologicznego. Lampy ultrafioletowe też wymagają częstego czyszczenia.

**Koszty:**

Nie przedstawiono kosztów dla zastosowania w pełnym zakresie.

**Przykłady instalacji:**

Hydroelektrownia, Ontario, Kanada, EDF elektrownia atomowa, Poitiers, Francja (obie instalacje eksperymentalne, 1999)

**Uwagi:**

Przy tendencji do ponownego wykorzystywania wody, nie jest pewne czy uda się, w takiej sytuacji, utrzymać w przyszłości odpowiedniej czystości wody bez znacznego i kosztownego uzdatniania.

**16.3.4.3 Katalityczne uzdatnianie wodą utlenioną  
[komentarz, D]****Opis:**

Katalityczne uzdatnianie wodą utlenioną jest techniką uzdatniania stosowaną dla pozbawienia oczyszczonej wody mikroorganizmów. Ta metoda ma na celu uzyskanie niskiego poziomu bakterii w wodzie. System ten chroni przed tworzeniem się bio-osadów i alg, a to chroni przed rozprzestrzenianiem się w układzie bakterii, w tym kolonii *legionellae*. Woda utleniona jest środkiem utleniającym, który w obecności katalizatora metalowego wytwarza znaczącą ilość wolnych rodników OH. Są one bardzo silnie utleniające, jak stwierdzono, silniej niż np. ozon czy chlor.

Odnotowano, że technologia ta ma szerokie spektrum działania, co oznacza, że wolne rodniki są skuteczne przeciwko dużej liczbie mikroorganizmów, w tym *Legionellae*. Nie odnotowano oporności genetycznej, więc nie jest konieczne stosowanie dozowania szokowego. Przy stosunkowo małym stężeniu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> woda jest praktycznie pozbawiona bakterii.

**Redukcje:**

Katalityczne uzdatnianie wodą utlenioną będzie redukowało poziom AOX i ChZT. Stwierdzono, że metoda ta nie powoduje powstawania żadnych niebezpiecznych związków chemicznych w odprowadzanej wodzie. Rozszerza ona okres pracy układu i ogranicza częstotliwość konserwacji, gdyż cała instalacja jest pozbawiona bio-osadów, alg i bakterii.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Uzdatnianie katalityczne nie wymaga żadnej dodatkowej energii. Typowe stężenie wody utlenionej (0,5 do 2 ppm) nie wykazuje oddziaływania na szybkość powstawania korozji i osadzanie się kamienia. Woda utleniona działa również jako inhibitor korozji.

#### **Ograniczenia dla zastosowań:**

Dobór najlepszego katalizatora (w postaci lekko poskręcanej siatki, zwykle zamontowanej na [ramie ze] stali nierdzewnej lub PE) powinien odbywać się dla każdego zastosowania indywidualnie. W układzie otwartym katalizator może być umieszczony przy dnie zbiornika wody lub w kolektorze dystrybucyjnym. Ustalono, że roztwór 30% wody utlenionej jest bardzo dobry do przechowywania i stosowania. Zastosowano go w modułowych **wieżach chłodniczych**. Nie stwierdzono, żadnych ograniczeń dotyczących wielkości wież. Podstawowe [dostępne] dane pochodzą z układów małych i średnich wież, ale prowadzi się badania zastosowań o dużych wydajnościach.

#### **Koszty:**

Ta metoda uzdatniania wymaga inwestycji w katalizator metalowy. Stwierdzono, że standardowy czas zużycia katalizatora wynosi 4 do 5 lat. Porównując koszty eksploatacji układu z katalizatorem i układu z dozowaniem biocydów (podchlorynu lub ozonu) o tej samej wydajności z uwzględnieniem amortyzacji, stwierdzono, że koszty układu z katalizatorem są znacząco niższe.

#### **Przykłady instalacji:**

Ausimont Deutschland GmbH, Bitterfeld (Niemcy)

#### **Uwagi:**

Doświadczenia pokazują, że istnieją dwie możliwości wyboru miejsca dozowania wody utlenionej.  $H_2O_2$  może być podawane do komory ssawnej pomp wież chłodniczych lub bezpośrednio do rurociągów doprowadzających wodę do każdego modułu chłodni (każdej „celki”).

### **16.3.4.4 Dwutlenek chloru**

#### **Opis:**

Ze względu na dobre własności dezynfekcyjne dwutlenek chloru ( $ClO_2$ ) jest rozpatrywany jako alternatywa względem podchlorynu ( $HOCl$ ) i biocyd do uzdatniania wody morskiej i słodkiej. Ponadto silnie ogranicza on powstawanie produktów ubocznych w postaci węglowodorów fluorowcowanych w ściekach. Jego stosowanie przy stosunkowo niskich stężeniach do kontroli rozwoju mikroorganizmów w układach wody chłodzącej uznano za skuteczne i opłacalne. Można go stosować w szerokim zakresie pH. Jest skuteczny dla wszelkich organizmów występujących w wodzie chłodzącej. Stwierdzono jego szczególną skuteczność w układach zawierających następujące zanieczyszczenia: amoniak, sól amonowa, alkany, alkeny i alkiny, alkohole, aminy pierwszorzędowe, glikole, etery, nienasycone aromaty, większość kwasów nieorganicznych, kwasy organiczne, diole, nasycone związki alifatyczne.

Przy następujących warunkach zastosowanie dwutlenku chloru jest korzystne:

1. zanieczyszczenie procesu
2. układy z alkalicznym pH

3. ograniczenia w ilości chloru w wydalanych ściekach
4. wykluczenie z otoczenia gazowego chloru.

Ostatnia zaleta może być wątpliwa w takich miejscach, gdzie dwutlenek chloru jest trudny do transportu i jest konieczna jego produkcja ma miejscu [tm059, Swinnen,1995].

Dwutlenek chloru nie wchodzi w reakcję z wodą i jest silnie rozpuszczalny w wodzie. Stwierdzono, że tłoczenie powietrza przez wodny roztwór dwutlenku chloru może spowodować wytrącenie go z roztworu. Z tego powodu roztwory uzdatniane dwutlenkiem chloru nie powinny być kierowane w rejony dużego napowietrzenia, jak zbiorniki rozbryzgowo, przed skierowaniem na wieżę chłodniczą. Wody roztwór dwutlenku chloru podlega foto-rozkładowi przy długim oddziaływaniu promieni ultrafioletowych. Tak jak w wypadku chlorowania, dla większej skuteczności uzdatnianie dwutlenkiem chloru może być zaplanowane po zmroku.

W czasie uzdatniania zostało zaobserwowane, że po pierwszej dużej dawce  $\text{ClO}_2$ , zaraz po uruchomieniu, całkowita ilość płytek normalnie spada. Po tym początkowym okresie,  $\text{ClO}_2$ , zaczyna oczyszczać biomasę zgromadzonego szlamu i uwięzione odpady. Gdy szlam zostanie zaatakowany, mikroorganizmy zostaną uwolnione do wody cyrkulacyjnej. W konsekwencji, wzrośnie na pewien czas całkowita ilość płytek, ilość wapnia i zmętnienie, a następnie wszystko wróci do normalnego poziomu. W tym okresie może również pojawić się spienienie.

### Redukcje:

Badania przeprowadzone we Włoszech zostały potwierdzone w Hiszpanii w dużej położonej na wybrzeżu elektrowni z **jednorazowym przepływem chłodzenia** [068, Ambrogi, 1997]. Okazało się możliwe obniżenie stężenia dawki  $\text{ClO}_2$  z początkowego stężenia 0,22 mg/l (8kg/godz.) w sezonie rozwoju [mikroorganizmów] do poziomu ok. 0,18 mg/l (6,5kg/godz.) i nawet dalszego zmniejszenia stężenia zimą. Te stężenia odpowiadają innym zawartym w raportach poziomom dozowania. Stosowano ciągle dozowanie. Było ono skuteczne w ograniczaniu rozwoju małż. Wynikowe stężenie związków trifluorometanu (THM) było znacząco niższe niż w wypadku zastosowania  $\text{HOCl}$ , niezależnie od temperatury i czasu reakcji. Waha się ono od 0,31  $\mu\text{g/l}$  przy dawce 0,50 mg/l  $\text{ClO}_2$  przez 10 minut i w temperaturze 15°C do 460,48  $\mu\text{g/l}$  przy dawce 0,40 mg/l  $\text{ClO}_2$  przez 60 minut i w temperaturze 60°C.

Jeżeli przyjmujemy maksymalną początkową dawkę o stężeniu 0,22mg/l, potrzebną do skutecznego uzdatniania, to spodziewane stężenie w wodzie morskiej na końcu kanału powinno być znacznie niższe niż  $\text{LC}_{50}$  (96godz.) przy 54,7  $\mu\text{g/l}$ . Udowodniono, że  $\text{ClO}_2$  skutecznie chroni przed osadzaniem przy stężeniu 0,05 – 0,25 mg/l.

W otwarty obiegowych obiegach wody chłodzącej typowe dozowanie zapewnia zawartość chloru wynoszące 1-5 ppm przy założeniu obliczonej objętości układu plus uzupełnianie podczas napełniania całego układu. Normalnie w czasie rozruchu, dwutlenek chloru podaje się do czystego układu w ilości 1 ppm przez jedną godzinę, trzy razy na dzień. Układy zanieczyszczone i brudne mogą wymagać zwiększonej dawki (3-5ppm) i większej częstotliwości podawania. Może być też wymagane czyszczenie mechaniczne układu dla dalszego zoptymalizowania cyklu uzdatniania.

Zaleca się, aby dla układów, w których spodziewane jest zanieczyszczenie procesu, wyznaczyć wymagane zapotrzebowanie dwutlenku chloru w układzie. Z obliczonej wartości zapotrzebowania można obliczyć początkową dawkę, która z doświadczenia można przyjąć na 30-50% zapotrzebowania.

**Tabela XI.4: Typowe dawki dwutlenku chloru dla układów z jednorazowym przepływem i zamkniętych w Europie.**

[CEFIC grupa podchlorynu sodu, komentarz]

Układ chłodzenia	Sposób podawania	Czas podawania	Typowa dawka (mg/l)
z jednorazowym przepływem	ciągły	8 godz. dziennie/ przez 8 miesięcy w roku	0,4
zamknięty	nieciągły	6 razy po 1 godzinie /dziennie	0,3
	ciągły	przez cały rok	0,2 w zimie 0,5 latem

**Tabela XI.5: Efekt stosowania dwutlenku chloru na osadzenia się larw małży (larvae) układach otwartych przepływowych**

[Dane amerykańskie, Van Hoorn, komentarz]

Dawka	Częstotliwość	Zmniejszenie osadzania
0,25 mg/l	4 x 15 min/dzień	95%
0,25 mg/l	2 x 30 min/dzień	35%

#### **Skutki oddziaływania na środowisko:**

Chociaż dwutlenek chloru nie tworzy żadnych trifluorometanów (THM) ani chlorofenoli, to można się spodziewać w niektórych warunkach powstaną takie związki jak aldehydy, ketony, chinony, a nawet epoksydy. Te ostatnie są znane jako związki rakotwórcze i mutagenne.

#### **Sposób stosowania:**

Uzdatnianie z dwutlenkiem chloru wymaga zastosowania instalacji do produkcji na miejscu. Nie można go sprężać i transportować w postaci gazowej ze względu na jego czułość na ciśnienie i temperaturę. W opracowaniu [tm059, Swinnen, 1995] wymieniono trzy sposoby jego miejscowej produkcji:

1. z gazowej mieszaniny chlorynu sodu i chloru
2. z mieszaniny chlorynu sodu, podchlorynu sodu i (kwasu chlorowego)
3. z aktywacji kwasu lub chlorynu sodu za pomocą kwasu chlorowego

#### **Punkt podawania**

Dla uzyskania najlepszych rezultatów, dwutlenek chloru należy podawać bezpośrednio do wody obiegowej wieży chłodniczej, w punkcie dobrego zmieszania, jak na przykład pod powierzchnię wody w studni zimnej wody lub zaraz za urządzeniem, które jest najbardziej krytyczne. Przy uzdatnianiu dwutlenkiem chloru na obiegu bocznym, można go wprowadzać na drugim końcu zbiornika (przeciwnym do zimnej studni), tak aby stworzyć efekt „przeczyszczenia” zbiornika lub do rurociągu powrotnego, tak aby dodatkowo chronić wieżę.

#### **Monitorowanie**

Stosując dwutlenek chloru w wodzie chłodzącej jako mikro-biocyd, ważne jest monitorowanie jego zużycia i skuteczności działania. Ścisła kontrola pozostałości dwutlenku chloru ze

zwróceniem uwagi na liczbę płytek prowadzi do najlepszych i najbardziej oszczędnych rezultatów.

Czasem można spotkać wolne pozostałości dwutlenku chloru na powrocie zamkniętego obiegu wody lub w ściekach obiegu z jednorazowym przepływem. Ich ilość badana metodą analityczną w większości wypadków wynosi mniej niż 5 ppm. W układzie, w którym nie wykryto pozostałości dwutlenku chloru, skuteczność jego działania można ocenić na podstawie wizualnej obserwacji biomasy, obliczeniu ilości organizmów lub pomiar różnicy ciśnień.

Metodą ciągłego monitorowania najczęściej stosowaną w Stanach Zjednoczonych jest metoda Redox. Typowe odnotowane wartości ORP potrzebne dla dobrej kontroli wynoszą 350-500mV.

**Koszty:**

W przedstawionych raportach nie odnotowano kosztów tej metody, ale stwierdzono, że są konieczne dalsze badania mające w celu zmniejszenie zużycia dwutlenku chloru w otwartych przelotowych układach chłodzenia dla obniżenia kosztu stosowania. Na tym etapie stwierdzono, że jest to metoda za droga dla stosowania w na dużą skalę (1996).

**Przykłady instalacji:**

Elektrownia Bridisi Nord (Włochy) (prace badawcze)

**Uwagi:**

Dla porównania z chlorowaniem w układach z jednorazowym przepływem konieczne wydaje się ujednoczenie sposobów dozowania, aby można było rozważyć dane obu metod tj. chlorownia i dwutlenku chloru, jako biocydu i na wylocie z układu. W oparciu o wymienione powyżej obiecujące wyniki, można stwierdzić konieczność prowadzenia dalszych badań.

**16.3.4.5 Oczyszczanie jonowe wody w celu uzdatnienia wody w wieżach chłodniczych [tm036, Wilsey,1997]****Opis:**

Oczyszczanie jonowe wody jest znaną uzupełniającą metodą uzdatniania wody w wieżach chłodniczych wykorzystującą jony miedzi. Uważa się, że systemy uzdatniania wody wykorzystujące tylko środki chemiczne powinny być zastąpione przez tę metodę, która wykorzystuje mniej szkodliwe i kosztowne dla środowiska substancje.

**Redukcje:**

W wyniku badań mikrobiologicznych stwierdzono, że mała ilość miedzi uzupełnia działanie 0,4 ppm chloru, powodując skuteczność uzdatniania równoważną 2,0 ppm wolnego chloru.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Nie podano kosztów tej metody, ale należy zwrócić uwagę na energię zużywaną przez generator jonów miedzi.

**Ograniczenia dla zastosowań:**



Metoda ta wymaga zastosowania generatora jonów miedzi wraz z układem pomiarowym do kontroli całkowitej ilości roztworów, magnetyzera i układu do pomiaru składu wody. Wykorzystując ten system można optymalnie wykorzystać tę metodę uzdatniania.

Optymalizacja wymaga rozważenia wielu czynników. Skład wody uzupełniającej musi być taki, aby zasadowość w zbiorniku wody pod wieżą mieściła się w zakresie od 40 ppm do 130 ppm, a pH od 7 do 8. Miedź działa, jako koagulator, który dla ograniczenia osadzania się kamienia, tworzy większe skupiska, które są łatwiejsze do oddzielenia i przefiltrowania. Ponadto miedź tworzy związki, które działają bakteriobójczo, zabijają bakterie i algi. Miedź działa również jako algicydy, w szczególności na niebiesko-zielone algi.

Jednakże należy zwrócić uwagę na ilość cyrkulującej miedzi, która będzie również decydować o jej stężeniu w wodzie upuszczanej i zrzucanej z układu. Resztkowe stężenie zabójczych związków miedzi również wymaga dalszego badania, gdyż może ono wywołać szkodliwe efekty w wodzie odbierającej ścieki.

**Koszty:**

Nie odnotowano w raportach.

**Przykłady instalacji:**

Nie odnotowano w raportach.

**Uwagi:**

Wyniki będą musiały być potwierdzone przez pełno wymiarowe zastosowanie.

**16.3.4.6 Stabilizacja fluorowcowanych biocydów w wodzie dla wież chłodniczych [tm62, Dallmier et al.,1997]****Opis:**

Szczególnie często stosowane są produkty oparte na chlorze i bromie. Skuteczność działania biocydów fluorowcowanych zależy całkowitej ilości resztkowego fluorowca. Ważne jest więc, aby przewidzieć wszelkie reakcje, które mogą obniżyć tą ilość w wodzie chłodzącej. Mogą pojawić się reakcje z inhibitorami korozji i osadzania kamienia (np. Br z toliitriazolem). Fluorowce mogą być stabilizowane dla ograniczenia ich lotności i zwiększenia zgodności z inhibitorami, oraz dla utrzymania wystarczającej skuteczności. Stosując hydantoinę udało się ustabilizować brom. Nie przedstawiono żadnych dalszych informacji na temat procesu stabilizacji.

**Redukcje:**

Zastosowanie stabilizowanego bromu w wieżach chłodniczych wywołuje następujące zjawiska:

1. uwalnianie bromu z powodu jego lotności jest mniejsze, kiedy brom jest stabilizowany i w ten sposób wzrasta ilość bromu w wodzie chłodniczej;
2. stabilizowany Br okazał się o jedną trzecią szybszy w zabijaniu bakterii tworzących szlam niż Br niestabilizowany;
3. stabilizowany Br okazał się bardzo skuteczny w usuwaniu mieszanych kultur warstwy biologicznej, zmierzono że, usunięcie w 45% warstwy biologicznej spowodowało zmniejszenie spadku ciśnienia w rurociągu o 47%;



4. przy zastosowaniu w układzie chłodzenia biur okazał się skuteczny przeciw bakteriom *Legionella pneumophila*;
5. w wodzie chłodzącej udało się utrzymać ponad 95% tolitriazolu, inhibitora korozji metali kolorowych, po dodaniu stabilizowanego bromu.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Nie są dostępne żadne informacje na temat skuteczności stosowania dodatkowych środków chemicznych do stabilizowania fluorowców.

**Ograniczenia dla zastosowań:**

Metoda ta została zastosowana do obiegów zamkniętych (natryskowych wież chłodniczych). Komentarze na temat możliwości stosowania tej metody koncentrują się na zastosowaniu hydantoiny. Stwierdzono w zebranych materiałach, że hydatoina jest trudna do obróbki (w formie tabletek) i wymaga urządzenia do rozpuszczania. Ogranicza to jej zastosowanie do małych układów chłodzenia. Na rynku obecne są produkty ze stabilizowanym bromem w postaci płynnej, które mogą być zastosowane również w dużych układach.

**Koszty:**

Nie przedstawiono informacji o kosztach stabilizowania.

**Przykłady instalacji:**

Jako przykłady zastosowania produktów stabilizowanych w postaci ciekłej przedstawiono 2 rafinerie (w Niemczech i Austrii) oraz 1 zakład chemiczny w Niemczech.

**Uwagi:**

Wymienione powyżej skutki działania tej metody zostały potwierdzone badaniami na działających instalacjach. Należy jednak wspomnieć o dwóch sprawach. W zebranych raportach nie przedstawiono żadnych obserwacji na temat dodawania stabilizatora oraz jego zachowania w układzie chłodzenia i ściekach. Nie można było ustalić ani szkodliwego ani pozytywnego oddziaływania na środowisko.

Badano działanie tego biocydu na Legionellę w układach chłodniczych (z „chillerami”), ale nie dokonano przeniesienia tych danych na układy z wieżami chłodniczymi.

**16.3.4.7 Środek tworzący warstwę ochronną (film) przeciwko zabrudzeniu, korozji i osadzaniu kamienia****Opis:**

W kanałach po stronie wody stosuje się środki tworzące na ich powierzchni warstwę ochronną (film) dla ochrony przed zabrudzeniem, korozją lub osadzaniem kamienia, które jednak nie wpływają na przepływ wody chłodzącej. Produktem handlowym służącym do tego celu jest Mexel®432/0, który po zastosowaniu tworzy długi łańcuch aminów alifatycznych. W postaci wodnych emulsji, produkt ten tworzy film na powierzchniach modułów (celek) wież chłodniczych, powodując tym samym niszczenie tkanek w stopniu zależnym od podanej dawki. Skuteczność tej metody ochrony nie zależy od modyfikacji składu chemicznego wody obiegowej ani od jej składu biologicznego, ale raczej od stopnia absorpcji i połączenia Mexel z powierzchniami obiegu. Ochrona przed osadzaniem, jaką zapewnia Mexel, wynika ze zjawiska wchłaniania jego składników przez membrany biologiczne, inaczej mówiąc biofilm. Wchłanianie to burzy spójność struktur biologicznych, a przy wysokich stężeniach powoduje niszczenie błon.

W stężeniu, które jeszcze nie powoduje śmierci, składniki Mexel włączają się w błony i zakłócają odbywający się przez nie transport gazów i jonów. Ten sposób uzdatniania wywołuje stres u organizmów żywych (jak małże itp.), który zapobiega ich pozostawaniu w obiegu.

Środek ten ma szerokie działanie ochronne przed mikro- i makro-osadami zarówno w wodzie morskiej jak i słodkiej. Ma on również działanie antykorozyjne i ochronne przed osadzaniem kamienia. Ogólnie podaje się go okresowo w celu odnowienia warstwy ochronnej. Okresowe podawanie jest również sugerowane dla ochrony przed makro-osadami. Trwałość powstałej warstwy ochronnej (filmu) wynosi 10 do 20 dni.

Dozowanie odbywa się automatycznie i rozpoczyna się od początkowej dawki, która powoduje utworzenie się warstwy ochronnej. Następnie mierzy się stężenie na wylocie z układu. Gdy w tym miejscu Mexel 432 zostanie wykryty, to następuje zmniejszenie podawanej dawki. Ten początkowy okres podawania dla dużego obiegu przelotowego na wodę morską wynosi 10 dni.

Badanie występowania tego środka w jednoprzepływowym obiegu wody odbywa się za pomocą laboratoryjnej metody spektrofotometrycznej lub eksploatacyjnej metody kolorymetrycznej. Ta druga metoda pozwala na szybką kontrolę stężenia tego środka w różnych punktach obiegu.

### **Wyniki:**

Warunki potrzebne do stosowania tej metody określone przez stężenie dawek oraz czas ich trwania zależy od wyników badań (bio-osadzania, korozji, tworzenia osadów i kamienia), własności fizyko-chemicznych wody obiegowej i charakterystyki obiegu (typ, temperatury, stanu powierzchni, materiałów, natężeń przepływów itp.).

Stosowany okresowo ze stężeniem resztkowym 3,5 mg/l, może być skuteczny przeciw małżom. Badania eksperymentalne wykazały również długotrwałą skuteczność okresowego stosowania tego środka na małże prądkowane przy następującej procedurze podawania: 3 godzinny dziennie ze stężeniem 6 mg/l, powoduje zabicie 100% małż.

W zaprezentowanym przykładowym obiekcie, dla ochrony mosiądzu aluminiowego przed korozją wystarczyło podawanie 5 ppm przez 30 minut dziennie. Dla ochrony przed makro osadami wystarczyło podanie 0,5 ppm przez 5 godzin dziennie. Przy okazji przeprowadzono obserwacje reakcji małż na dozowanie w celu ustalenia optymalnej procedury dozowania.

### **Skutki oddziaływania na środowisko:**

W odwiedzonych obiektach uznano za oczywistą zaletę fakt, że nie było już potrzeby stosowania elektrolizy wody morskiej. Nie była więc już potrzebna wanna elektrolityczna, której obsługa była kosztowna i szkodliwa dla środowiska (zdrowia ludzi).

Na zanikanie Mexel w roztworze mają wpływ następującej trzy procesy: natychmiastowe zapotrzebowanie, turbulencja wody i rozkład bakterii w warunkach napowietrzenia. Bakterie powodują rozkład 98% tego środka przez 10 dni.

Pomimo toksycznego oddziaływania tego środka na organizmy żyjące w słodkiej wodzie, wykazuje on szybkie zanikanie jego toksycznych form w wodach naturalnych i brak toksyczności podczas jego rozkładu.

**Ograniczenia dla zastosowań:**

Nie ma ograniczeń stosowania tego środka wynikających ze stosowanych materiałów (brązu, miedzioniklu, stali i stali nierdzewnej 304L i 306L) czy rodzaju wody (morskie lub słodkiej). Mexel może być skutecznym chemicznym i biologicznym inhibitorem korozji.

Można go stosować do małych pół-otwartych cyrkulacyjnych obiegów hydraulicznych o wydajności kilku metrów sześciennych na godzinę (w klimatyzacji) do obiegów o wydajnościach do 100 000 m<sup>3</sup>/h na wodę słodką, słonawą czy morską. Jest on stosowany na całym świecie do uzdatniania wody w obiegach hydraulicznych (chłodzenia, ochrony pożarowej, itp.) elektrowni, w instalacjach geotermicznych, okrętowych, w przemyśle chemicznym, rafineriach, platformach wydobywczych, w obiegach klimatyzacji na wodę i inne media.

**Koszty:**

Dane o kosztach podano tylko w porównaniu do zastosowania chlorowania, oraz szczególnie w porównaniu z elektrolizą. Mogą one jednak nie potwierdzać zrównoważenia kosztów stosowania Mexel w porównaniu z chlorowaniem. Koszty zależą od powierzchni, która ma być pokryta warstwą ochronną, a nie od objętości obiegu chłodzenia.

**Przykłady instalacji:**

Elektrownia EDF, Le Haver (Francja).

**Uwagi:**

Fakt, że ten produkt wykazuje niską toksyczność w środowisku i brak występowania toksycznych produktów rozkładu, powoduje, że jest ona dobrą alternatywą dla uzdatniania wody chłodzącej.

Produkt ten łatwo ulega biodegradacji. Zaleta ta może jednak okazać się wadą, gdy rozważymy wymaganą początkową ilość tego środka dla stworzenia warstwy ochronnej na powierzchniach. Jego podatność na wchodzenie w reakcje może spowodować zwiększenie jego ilości i tym samym kosztów stosowania. Tam gdzie generalnie woda słodka zawiera więcej rozтворów niż woda morska, to zalecane jest stosowanie tego środka w warunkach wody morskiej.

**16.3.4.8 Stabilne organiczne inhibitory korozji w otwartych wyparnych wieżach chłodniczych**

[tm091, CTI, Little et al.]

**Opis:**

Uzdatnianie wody oparte na związkach organicznych stosowane w otwartych mokrych wieżach chłodniczych może zostać zaburzone z powodu podatności tych związków na działanie silnych utleniaczy, oddziaływanie dużych strumieni przenoszonego ciepła, ich skłonność do odkładania się w postaci soli wapnia, co zwiększa poziom twardości oraz przez potrzebę stałego przepływu wody. Dla rozwiązania tych problemów opracowano następujące związki Ethanolamine Bisphosphono-metyl (bisfosfonio-metyl etanolaminowy), tlenek azotu (N-oxide), nazywane EBO. EBO jest organicznym fosforanem, który może zostać wykorzystany jako anodowy inhibitor korozji w uzdatnianiu wody chłodzącej. Podaje się, że EBO wykazuje dużą odporność wobec chlorowców. Stabilność EBO jest porównywalna z HEDP w następujących warunkach: poziom wapnia 500 mg/l jako CaCO<sub>3</sub>, bufor o pH wynoszącym 8,3 i temperatura 60°C.

**Redukcje:**

Ustalono, że można podać ponad 100 mg/l EBO nie powodując wytrącania, podczas gdy w wypadku HEDP jest to tylko 7 mg/l przy tych samych warunkach. Nie stwierdzono żadnego szkodliwego oddziaływania wywołującego korozję metali kolorowych. W porównaniu do uzdatniania związkami organicznymi bez EBO, korozja została znacząco ograniczona.

**Skutki oddziaływania na środowisko:**

Ze względu na możliwość zastosowania większej liczby cykli zateżania, możliwe jest zmniejszenie zużycia wody, ponieważ EBO jest mniej podatne na wyższy poziom twardości wapniowej.

**Ograniczenia dla zastosowań:**

Metoda ta ma tylko zastosowanie w otwartych obiegach cyrkulacyjnych.

**Koszty:**

Nie zamieszczono w raportach.

**Przykłady instalacji:**

Tylko pilotowy projekt z wieżą chłodniczą. Nie przedstawiono przykładu pełnego zastosowania.

**Uwagi:**

Zastosowanie EBO i innych podobnych ulepszonych środków chemicznych służących do uzdatniania wody wymaga przeprowadzenia dalszych badań toksyczności wydalanych z takich układów substancji.

**16.3.5 Uzdatnianie zrzucanej wody chłodzącej**

Zmniejszenie emisji objęte zintegrowanym systemem działań rozpoczyna się od ograniczenia do minimum wykorzystywania bogactw naturalnych. Takie pierwotne działania, które powinny być podjęte opisuje rozdział 1. Po uwzględnieniu wszystkich ograniczeń samego układu chłodzenia i jego lokalizacji okazuje się, że w wielu wypadkach wciąż jest konieczne podawanie pewnej ilości środków chemicznych. Te zaś mogą pojawić się w wydalanych ściekach. Monitorowanie i optymalizowanie ich wykorzystania do uzdatniania wody pozwala na ograniczenie tego wydalanania.

W niektórych przypadkach strumień zużytej wody chłodzącej przed usunięciem jest przekazywany do oczyszczalni ścieków. Dalsze informacje na temat oczyszczania ścieków przedstawiono odpowiednim dokumencie referencyjnym BREF. Żadne szczególne przykłady takiego postępowania z wodą chłodzącą nie zostały przedstawione w raportach. Można za to wspomnieć kilka uwag dotyczących uzdatniania:

- dla ochrony środowiska wodnego lub urządzeń oczyszczalni ścieków przed nadmiernymi stężeniami środków do uzdatniania, występującymi zaraz po ich podaniu, ścieki z układów można gromadzić w zbiornikach buforowych.
- w rafineriach, ze względu na zawartość substancji technologicznych, ścieki z zamkniętych obiegów chłodzenia musiałyby być uzdatniane zanim zostaną skierowane do oczyszczalni ścieków, gdyż mogłyby zachwiać równowagę procesów oczyszczania. Tam gdzie poziom oleju w ściekach jest dużo niższy niż poziom resztek oleju we wstępnie uzdatnionej wodzie procesowej innych instalacji, ścieki te mogą być podawane bezpośrednio do oczyszczalni bez wstępnej obróbki.

## 16.4 Silniki z przetwornikami częstotliwości - obniżenie zużycia energii elektrycznej

[tm097, Immell, 1996]

Można ograniczyć energię elektryczną potrzebną do pracy układu chłodzenia przez zmniejszenie wydajności pomp lub zoptymalizowanie pracy wentylatorów. W przypadku nowego obiektu, wiele można zrobić na etapie projektowania (np. konstrukcji wież chłodniczych, typu ich wypełnienia, konfiguracji układu pomp). W istniejącym obiekcie możliwości optymalizacji są dużo bardziej ograniczone i wiążą się z wymianą urządzeń.

### Opis:

Zastosowanie silników elektrycznych ze zmiennymi obrotami do napędu wentylatorów pozwala na dostosowanie ich prędkości obrotowej do aktualnych potrzeb układu chłodzenia. Jedną z metod takiego napędu silników jest zastosowanie przetwornika częstotliwości [przykład tłum. popularnie zwanego falownikiem]. Falownik (VFD) jest połączeniem przetwornika napięcia i przemiennika natężenia prądu (stałego na zmienny).

Wieże chłodnicze są zwykle tak projektowane, aby dostarczały wodę o określonej temperaturze przy zadanym obciążeniu cieplnym i takiej temperaturze wilgotnego termometru, która jest przekraczana tylko przez minimalną liczbę dni w roku (1–2,5%). Przez większość czasu wieże pracują przy niższej niż projektowa temperaturze wilgotnego termometru. Temperatura ta zmienia się ponadto wraz z porami roku.

Tym zmianom można przyporządkować różne prędkości obrotowe wentylatorów. Zastosowanie do napędu falowników pozwala utrzymać wymaganą temperaturę wody. Falowniki są powszechnie dostępne na rynku.

### Redukcje:

Dzięki niższym prędkościom obrotowym uzyskuje się niższe zużycie energii, niższy poziom hałasu i drgań. Obserwuje się również zwiększenie żywotności urządzeń napędzanych przez falowniki wynikające z łagodnych zmian prędkości (tzw. „soft start”).

### Skutki oddziaływania na środowisko:

Patrz akapit wyżej.

### Ograniczenia dla zastosowań:

W opracowaniach wspomniano, że przed zastosowaniem falowników istnieje konieczność sprawdzenia następujących informacji o układzie: sposób automatycznej regulacji temperatury, właściwy rozkład napędów z falownikami w zależności od obciążeń wentylatorów wież chłodniczych, analiza rezonansu urządzeń.

### Koszty:

W opracowaniach nie zaprezentowano konkretnych kosztów.

### Przykłady instalacji:

Nie wymieniono konkretnych przykładów zastosowań.

## 17 ZAŁĄCZNIK ZASTOSOWANIA SPECJALNE: PRZEMYSŁ ENERGETYCZNY

[tm132, Eurelectric,1998]

### Streszczenie

Aby podsumować zgromadzoną dotychczas wiedzę i umożliwić wykorzystanie jej przez inne gałęzie przemysłu załącznik ten sporządzono w ramach EURELECTRIC. Dokument ten jest wynikiem współpracy ELECTRICITE DE FRANCE, ELECTRABEL, LABORELEC i VDEW odnośnie VGB reprezentującego German Power Plant Operators. Zawarto w nim również efekty pracy różnych grup roboczych UNIPEDE<sup>7</sup> i CORECH<sup>8</sup>.

Załącznik ten ma na celu przedstawienie pewnych podstawowych informacji, które pozwolą na lepsze zrozumienie zagadnień ujętych w dokumencie głównym. Wyjaśniono w nim w uproszczony sposób jak działają elektrownie zasilane energią cieplną i przedstawiono główne funkcje, jakie spełniają w nich układ chłodzenia skraplacza i inne urządzenia pomocnicze. Bardziej szczegółowej analizie poddano możliwe oddziaływanie układów chłodzenia na środowisko. Zagadnienia, jakim poświęcono część tego załącznika to emisja ciepła, zasysanie organizmów żywych do układu, odprowadzanie do środowiska środków potrzebnych do uzdatniania wody oraz inne potencjalne szkodliwe oddziaływania na środowisko, w tym hałas.

Dokonano ponadto analizy różnych możliwych technik chłodzenia. Dotyczy ona głównie projektowania nowych instalacji i może być wykorzystana jako dodatkowa informacja przy wyznaczaniu najlepszych dostępnych technik BAT. Obejmuje ona nie tylko zagadnienia techniczne i ekonomiczne, ale również szczególnie dużo uwagi poświęcono w niej ekologicznym i energetycznym zagadnieniom poszczególnych rozwiązań. Chociaż wnioski końcowe analizy dotyczą głównie przemysłu energetycznego, są one zgodne z ogólnymi wnioskami dotyczącymi najlepszych dostępnych technik BAT zawartymi w rozdziale 4 dokumentu głównego.

Do podstawowych wniosków, które wyciągnięto na podstawie wspomnianej powyżej analizy należą:

- Przed przystąpieniem do projektowania elektrowni należy ocenić wpływ układu chłodzenia na otaczające środowisko naturalne; w tym celu zaleca się stosowanie modeli numerycznych lub przeprowadzanie testów na instalacjach pilotażowych zamontowanych w danym miejscu.
- W czasie projektowania układów chłodzenia należy w możliwie jak najszerszym zakresie uwzględnić zagadnienia ekologiczne i oszczędność energii.
- Należy systematycznie starać się stosować właściwe procesy fizyczne, które spowodują ograniczenie tworzenia się osadów na powierzchniach (ciągłe czyszczenie mechaniczne, podniesienie temperatury, filtracja, itd.).
- Zastosowanie środków chemicznych należy rozpatrywać w każdym wypadku z osobna i należy dążyć do ograniczenia ich użycia.

<sup>7</sup> Międzynarodowe Stowarzyszenie Producentów i Dystrybutorów Energii Elektrycznej

<sup>8</sup> Komitet Badawczy



- Ze względu na zbyt dużą ilość lokalnych czynników wybór jednego najlepszego rozwiązania układu chłodzenia nie jest możliwy. Do czynników tych należą nie tylko dostępne przepływy, ale również względy estetyczne.

## 17.1 Wprowadzenie

Procesy termodynamiczne zachodzące w konwencjonalnej elektrowni przebiegają zgodnie z obiegiem CARNOTa. Sprawność nowo projektowanej konwencjonalnej elektrowni osiąga wartość 40%. Jednakże stosując zaawansowane technicznie rozwiązania oraz przy sprzyjających warunkach klimatycznych, a w szczególności, gdy występuje woda chłodząca o odpowiednich parametrach (układy przelotowe otwarte), nawet przy spalaniu węgla kamiennego, można osiągnąć sprawność 47%. Z tego wynika, że prawie 45% energii dostarczonej w wyniku spalania musi zostać rozproszona na poziomie skraplacza.

Skraplacz jest więc najważniejszym elementem instalacji. Niezależnie od zastosowanego sposobu chłodzenia, skraplacz jest jednym z najistotniejszych elementów elektrowni, które oddziałują na otaczające środowisko. Sprawność i niezawodność działania elektrowni zależą w dużym stopniu od sprawności i czystości skraplacza. Z tych powodów już dawno wprowadzono takie rozwiązania jak: ciągłe mechaniczne czyszczenie za pomocą kulek z gąbki, odporne na korozję stopy takich metali, jak tytan czy stale nierdzewne, itd. Z tego również powodu wprowadzono układy uzdatniania wody, szczególnie w zamkniętych obiegach chłodzenia.

Ponieważ jednak przepływy wody chłodzącej mogą osiągnąć nawet kilkadziesiąt m<sup>3</sup>/s, trudno będzie przenieść doświadczenia ze stosowaniem tych metod uzdatniania wody i wybranych rozwiązań na inne gałęzie przemysłu.

## 17.2 Układy chłodzenia elektrowni - zasady działania i uwagi

Działanie elektrowni opiera się na obiegu CARNOTa. W tym obiegu źródło ciepła, czyli kocioł, dostarcza ciepło potrzebne do odparowania wody, a źródło zimna, czyli skraplacz, skrapla parę wychodzącą z turbiny niskiego ciśnienia.

Jednym z głównych parametrów charakteryzujących elektrownię pod względem technicznym i ekonomicznym jest **jednostkowe zużycie ciepła**, czyli ilość ciepła potrzebna do wyprodukowania 1 kWh energii elektrycznej. To jednostkowe zużycie wynika z bilansu cieplnego obiegu (tabela 1).

**Tabela XII.1: Przykład uproszczonego bilansu cieplnego nowej konwencjonalnej elektrowni**

Przemiana energii	Ilość energii (kJ)	(%)	Sprawność (%)
energia spalania	9000	100	100
strata w wytwornicy pary	1050	- 11,7	88,3
„strata” w skraplaczu	4200	- 46,5	41,8
podgrzewanie wody zasilającej	(2000)	(22,2)	(w obiegu zamkniętym)



straty turbogenerators	65	- 0,75	41,05
zużycie energii urządzeń pomocniczych	65	- 0,75	40,3
strata transformatora głównego	25	- 0,2	40,1
ogólna sprawność obiektu			40,1

Największą uwagę przywiązuje się do obecności odpowiedniego źródła zimna. Nie zawsze jest możliwe pobieranie wody do chłodzenia bezpośrednio z rzeki, morza czy jeziora. Może okazać się konieczne zastosowanie obiegu zamkniętego z wieżą chłodniczą. Z przedstawionego powyżej bilansu cieplnego wynika, że na każdą kWh wyprodukowanej energii elektrycznej potrzebne jest odprowadzenie 4200kJ ciepła. Ponadto ciepło to nie może być odzyskane, gdyż jego energia jest zbyt niska.

Systemy nowej generacji, a w szczególności systemy skojarzone (lub turbiny gazowe), pozwalają na uzyskanie wyższej sprawności obiegu, nawet powyżej 55%.

Układ chłodzenia, który służy do odprowadzania tej energii, nazywany jest ogólnie systemem obiegowym. Przez węzownice skraplacza przepływa woda pobierana z rzeki, morza lub jeziora. Podgrzanie tej wody i jej przepływ zależą od zainstalowanej mocy [generators] (tabela 2).

#### **Tabela XII.2: Zestawienie zależności między zainstalowaną mocą a parametrami układu chłodzenia**

(Te przykładowe wartości mogą zmieniać się w zależności od typu obiegu chłodzenia, temperatury powietrza zewnętrznego lub temperatury wody pobieranej do układu)

Nominalna moc jednostki (MW)	Przepływ wody obiegowej (m <sup>3</sup> /s)	Podgrzanie wody w skraplaczu (K)
125	3 – 5	7 – 12
250	6 – 10	7 – 12
600	14 – 24	7 – 12

Każda jednostka posiada również następujące pomocnicze układy chłodzenia:

- chłodnica oleju dla dławicy generators,
- chłodnice sprężarek,
- itd.

Obiegami zamkniętymi na wodę zdemineralizowaną są następujące układy:

- chłodnice wody do chłodzenia stojanu generators;
- wodorowe chłodnice generators;
- itd.

W zależności od wielkości jednostki przepływ wody do chłodzenia urządzeń pomocniczych stanowi zwykle 4 do 8% całkowitego przepływu wody chłodzącej. Podgrzewanie wody chłodzącej przez urządzenia pomocnicze jest ograniczone i wynosi nie więcej niż 10K w zależności od eksploatowanego urządzenia. Jednakże nawet jeżeli to obciążenie cieplne jest relatywnie małe, to usunięcie pozostałego w układzie ciepła po zatrzymaniu pracy jednostki może zająć nawet kilka dni.

## 17.3 Potencjalne oddziaływanie układów chłodzenia na środowisko

Na poziomie źródła zimna ciepło uwalniane jest z reguły do dwóch środowisk naturalnych: wody i powietrza. Jednocześnie tak naprawdę nawet, jeżeli ciepło jest wydalone do środowiska wodnego, największa ilość rozproszonego ciepła i tak ostatecznie przedostaje się do atmosfery. Dzieje się tak, ponieważ woda stopniowo oddaje ciepło w wyniku wielu naturalnych procesów takich, jak parowanie, przewodzenie, promieniowanie. Jednak ze względów ekonomicznych woda jest rozpatrywana jako pierwsza.

Zanim dokona się wyboru, która z technik chłodzenia może zostać uznana za najlepszą dostępną technikę BAT, konieczne jest dokonanie analizy negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, oceny natury tego oddziaływania i częstotliwości jego występowania. Innymi słowy należy zdecydować czy środowisko będzie w stanie tolerować to oddziaływanie czy nie.

### 17.3.1 Emisje ciepła do atmosfery

Niezależnie od sposobu chłodzenia całe ciepło wydalone do źródła zimna jest w końcu przekazywane do atmosfery. W wypadku wież chłodniczych, skraplaczy chłodzonych powietrzem oraz suchych wież chłodniczych ciepło jest przekazywane bezpośrednio do atmosfery. W wypadku otwartego jednorazowego układu chłodzenia połączonego z rzeką, morzem czy jeziorem ciepło jest przekazywane do atmosfery poprzez powierzchnię zbiornika wodnego przyjmującego zrzut, co odbywa się na dużej powierzchni i z pewnym opóźnieniem w zależności od warunków lokalnych.

W elektrowniach chłodzonych w **systemie z jednorazowym przepływem otwartym** (rysunek XII.1, część XII.11), gdy jednostka pracuje ze swoją nominalną mocą, woda jest podgrzewana zwykle z 7 do 12 K. W takim układzie odprowadzana woda jest stopniowo schładzana poprzez mieszanie z wodą przyjmującą. Ciepło jest następnie przekazywane do atmosfery za pośrednictwem trzech podstawowych procesów: parowania (35 do 45% uwalnianej energii), promieniowania z powierzchni wody (25 do 35%) i przenikania do powietrza (20 do 30%). W pewnych sytuacjach władze lokalne mogą ograniczyć temperaturę wylotową wody w zależności od lokalnych uwarunkowań.

Ilość energii odprowadzanej w wyniku parowania odpowiada 20 kg/s pary wodnej na 100 MW<sub>th</sub> wydajności chłodzenia. Ze względu na nagłe zmniejszenie efektu podgrzewania wody poniżej miejsca zrzutu, jedynym zjawiskiem atmosferycznym, które może prawdopodobnie występować w pobliżu wylotu wody jest tworzenie się i utrzymywanie mgły. Dzieje się tak ze względu na wysokie różnice temperatur, jednakże zakres tego zjawiska jest ograniczony.

Warto wspomnieć, że przy tych samych warunkach temperatura tworzenia się i zanikania mgły jest wyższa w przypadku słonej wody niż w przypadku wody słodkiej. Jest to korzystne dla elektrowni usytuowanych przy ujściach rzek lub nad morzem.

W elektrowniach wyposażonych w **mokre wieże chłodnicze** (rysunek XII.2, część XII.11), wszystko przebiega tak, jakby ciepło było odprowadzane bezpośrednio do atmosfery. W praktyce stosuje się dwie metody chłodzenia:

- obieg otwarty jednorazowy z wieżą chłodniczą (rysunek XII.3, rozdział XII.11) i

- obieg zamknięty (rysunek XII.4, część XII.11)

Odprowadzanie ciepła następuje w tym wypadku w sposób skoncentrowany na małej powierzchni. Wieże chłodnicze przekazują do atmosfery 70% ciepła w postaci ciepła utajonego (pary nasyconej) i 30% w postaci ciepła jawnego. Wynika z tego, że ilość pary wydalanej do atmosfery jest mniej więcej dwa razy większa niż w wypadku obiegu otwartego bez wieży chłodniczej. Do atmosfery wydostaje się wilgotne powietrze o temperaturze wyższej od temperatury otoczenia o ok. 10 – 20 K. Prędkość wypływu w wypadku wież chłodniczych z naturalnym przepływem wynosi 3 – 5 m/s, a w przypadku wież z ciągiem wymuszonym prędkość ta jest dwa razy większa. To wilgotne powietrze, które schładza się przez zmieszanie z powietrzem zewnętrznym, może powodować powstawanie chmury oparów.

Ryzyko powstawania mgły na poziomie ziemi w wyniku osiadania wilgotnych oparów, gdy jest chłodno, wilgotno i bezwietrznie, może występować stosunkowo często w wypadku wież z ciągiem wymuszonym (rysunek XII.5, rysunek XII.6, rysunek XII.7, część XII.11) ze względu na ich mniejszą wysokość. Zagrożony tym zjawiskiem jest obszar do 500m od źródła.

Im wyższa wieża tym rzadziej występuje to zjawisko. Można założyć, że na równinach osadzanie się oparów występuje tylko w wyjątkowych sytuacjach, gdy wieża ma od 50 do 75 m wysokości w zależności od warunków lokalnych.

Zimą w okolicach wieży może również dochodzić do powstawania szronu w wyniku kontaktu osiadających oparów lub wody rozpryskiwanej u podstawy wieży z zamrożoną powierzchnią ziemi. Jednakże zasięg rozpylania ogranicza się na szczęście jedynie do bezpośredniego sąsiedztwa wieży i dotyczy tylko rejonu w promieniu kilkudziesięciu metrów.

Główną zmianą klimatyczną związaną z pracą mokrych wież chłodniczych jest wzrost zamglenia w okolicach wieży w wyniku powstawania oparów i w rezultacie zmniejszenie nasłonecznienia.

Gdy w elektrowni zastosowane są **wieże chłodnicze typu suchego** (rysunek XII.11, część XII.11) lub **skraplacze chłodzone powietrzem** (rysunek XII.9 i 10, część XII.11), ilość wilgoci w przepływającym przez nie powietrzu nie zmienia się, ale temperatura tego powietrza wzrasta o około 15 do 20 K powyżej temperatury otoczenia. Całe ciepło jest wydzielane w postaci jawnej, a ciepłe, nienasycone wilgocią powietrze unoszone do atmosfery rzadko powoduje tworzenie się chmur czy widocznych oparów.

Zastosowanie **hybrydowych wież chłodniczych** (typu mokrego-suchego) (rysunek XII.8, część XII.11) pozwala zwykle uniknąć tworzenia się oparów nad wieżą. Zużycie wody w tego rodzaju wieżach (tj. ilość wody do uzupełniania) jest mniejsza niż w wypadku wież mokrych. Obecnie jedynymi dostępnymi wieżami hybrydowymi są wieże z ciągiem wymuszonym. Roczny bilans zapotrzebowania na moc w elektrowni wyposażonej w wieże hybrydowe z ciągiem wymuszonym może być na podobnym poziomie jak w przypadku zastosowania porównywalnej wielkości mokrych wież z wymuszonym obiegiem powietrza. Bilans ten uwzględnia ich różne tryby pracy.

Od kilku lat w nowoczesnych elektrowniach węglowych w Niemczech stosuje się wieże chłodnicze do schładzania odsiarczonych spalin. Jest to rozwiązanie mogące zastąpić odprowadzanie spalin bezpośrednio przez komin i jest ono korzystne pod względem ekologicznym i ekonomicznym.

### 17.3.2 Podgrzewanie wód przyjmujących

Chociaż ostatecznie całe ciepło wydalone przez elektrownię jest przekazywane do atmosfery, to jego znaczna część jest przekazywana poprzez środowisko wodne. W tym procesie przyjmowania ciepła mają miejsce takie procesy fizyczne jak:

- dyfuzja burzliwa,
- konwekcja ciepła w wodzie,
- przepływ cieczy o różnych gęstościach,
- parowanie, promieniowanie i konwekcja ciepła w powietrzu.

Który z tych procesów będzie decydujący w procesie wymiany i dystrybucji ciepła, zależy od ilości odprowadzanego ciepła i rodzaju środowiska w którym zachodzi wymiana.

Opisując zachodzące w wydalanej wodzie chłodniczej procesy należy wyróżnić dwa charakterystyczne rejony: pierwszy - znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie kolektora zrzutowego i drugi - oddalony od niego.

**Rejon w bezpośrednim sąsiedztwie kolektora zrzutowego** to taki rejon, w którym nie następuje całkowite zmieszanie podgrzanej wody obiegowej z wodą w rzece.

Temperatura wody w tym rejonie zależy od stopnia mieszania wody zrzutowej z elektrowni z wodą w środowisku przyjmującym. Podgrzewanie wody w tym rejonie można zredukować stosując odpowiednie urządzenia do szybkiego mieszania wody zrzutowej i wody przyjmującej.

**Rejon oddalony od kolektora zrzutowego** to taki rejon, w którym woda została wymieszana na pełnej głębokości. Rejon ten stanowi tło dla dalszych emisji. Wzrost temperatury w rejonie oddalonym jest stopniowo ograniczany przez napływ wody zewnętrznej i wymianę ciepła z atmosferą.

W wypadku mórz **plywowych lub z silnymi prądami** procesy zachodzące w strefie podgrzanej wody powstałej w wyniku zrzutu ciepłej wody z elektrowni zależą głównie od występowania przepływów o dużych prędkościach w środowisku przyjmującym zrzut. Przepływy takie powodują szybkie mieszanie wody i ograniczają tworzenie się warstw zimnej i ciepłej wody o różnej gęstości. Spadek temperatury w strefie zrzutu ciepłej wody następuje przede wszystkim wskutek mieszania się wody, a nie przez oddawanie ciepła przez powierzchnię wody. Wielkość tej strefy w morzach pływowych, definiowanej jako obszar o izotermie podgrzania o 1K, obejmuje rejon o powierzchni od 2 do 10 km<sup>2</sup> przy zrzucie wody o wielkości odpowiadającej elektrowni atomowej o mocy 5 000 MW<sub>e</sub>.

W **morzach bezplywowych** procesy zachodzące w strefie podgrzanej wody zależą przede wszystkim od przepływów uwarstwionych. Temperatura spada tam szybko w wyniku wymieszania spowodowanego tarciem i turbulencją między warstwami. W tego typu wodach (również w jeziorach) rozpraszanie lub przenoszenie wody chłodniczej w dużym stopniu zależy od prądów wywołanych wiatrem i warunków termoklina. Szacuje się, że na 1MW<sub>e</sub> potrzebny jest 1 ha powierzchni wody.

Z reguły w elektrowniach usytuowanych na wybrzeżach, woda chłodząca jest zrzucana do morza przez otwarty kanał.

Procesy zachodzące w strefie podgrzanej wody w **ujściach rzek** są podobne do tych występujących w morzach o silnych prądach pływowych. Najważniejszą rolę w tym procesie gra zmieniający się ruch wody. Płynąca rzeka będzie przenosiła ciepło do morza. Jednak nadchodzący przyptyw spowalnia ten proces lub odwraca jego kierunek, w wyniku czego następuje rozproszenie ciepłej wody w rejonie ujścia rzeki.

Ocena podgrzania wody w rzece związanego ze zrzutem ciepłej wody z elektrowni jest stosunkowo skomplikowanym zagadnieniem. Proces schładzania wody w rzece jest przede wszystkim związany z wymianą ciepła między rzeką a powietrzem atmosferycznym. Przepływ energii cieplnej między powierzchnią wody a atmosferą zmienia się znacznie w zależności od warunków meteorologicznych i pory dnia.

W celu lepszego rozprowadzenia i wymieszania podgrzanej wody na odcinku kilkudziesięciu czy kilkuset metrów na całej szerokości rzeki umieszcza się dyfuzory. Jeżeli zrzut wody następuje wzdłuż brzegu rzeki, całkowite naturalne wymieszanie wody następuje na odcinku kilku kilometrów.

Zawsze **należy unikać ponownego zasysania podgrzanej wody** z rzeki. W przypadku zrzutu do morza lub ujścia rzeki, stopień powrotu do układu wcześniej podgrzanej wody powinien być ograniczony do minimum, aby nie obniżyć sprawności i bezpieczeństwa pracy elektrowni. Położenie i konstrukcja wylotu i wlotu wody powinny być tak zaprojektowane, aby zapobiegać recyrkulacji wody chłodzącej.

Przeprowadzenie wstępnych badań pozwala zwykle na zaprojektowanie takiego wlotu i wylotu wody oraz takich urządzeń, które pozwolą na zapobieżenie recyrkulacji i umożliwią dokładne i jak najszybsze wymieszanie podgrzanej wody. Badania takie opierają się na modelach fizycznych (hydraulicznych) i modelach numerycznych. W miarę możliwości zastosowane modele numeryczne i inne, powinny być oparte o zgromadzone na miejscu dane hydrograficzne.

Wykorzystanie tych narzędzi w ocenie wpływu projektowanego obiektu na środowisko pozwala na zapewnienie, że nie zostaną przekroczone dopuszczalne wartości maksymalnego podgrzania wody w rejonie zmieszania czy temperatury wody po zmieszaniu.

### 17.3.3 Zasysanie organizmów żywych do układu

W czasie pompowania wody potrzebnej do chłodzenia elektrowni cieplnej następuje zasysanie mikroorganizmów (alg czy planktonu), jak również innych organizmów pływających w wodzie (niektóre skorupiaki i ryby). Plankton przechodzi przez siatkę filtrów obrotowych, której rozmiar oczek wynosi zazwyczaj między 1 a 5mm. Taki filtr zatrzymuje jednak skorupiaki i ryby, które są rozplaszczane na panelach filtracyjnych, a następnie zebrane i wydalone przez wodę przepływającą filtry.

Niektóre badania pokazują, że zasysanie [do układu chłodzenia] dotyczy głównie małych organizmów takich, jak: krewetki, larwy i narybek łososa w morzach i ujściach rzek czy narybek łososa w rzekach. Zasysanie występuje szczególnie w przypadku migracji młodych łososi w dół rzek.

W celu ograniczenia wciągania/porywania tych organizmów mogą zostać podjęte trzy następujące działania:

1. Usytuowanie wlotu wody poza obszarami zagrożonymi, takimi jak: tarliska i miejsca, gdzie szczególnie licznie występuje narybek przy brzegach mórz, czy trasy migracji larw węgorzy przy ujściach rzek;
2. Projektowanie kanałów ssawnych w taki sposób, aby ograniczyć zasysanie organizmów;
3. Wyposażenie wlotów wody w urządzenia czy elementy odstrasżające, które spowodują powrót organizmów do środowiska bez uszkodzenia.

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat wymyślono i zastosowano wiele systemów i urządzeń odstrasżających montowanych na wlotach hydroelektrowni i elektrowni ciepłych, a między innymi:

- W wodach słodkich ekrany pod napięciem odstrasżają niektóre gatunki ryb, ale nie działają na palczaki, a nawet je przyciągają;
- Kurtyny z pęcherzy powietrza dawały generalnie słabe efekty;
- Światło jest częściowo skuteczne w przypadku niektórych organizmów, ale ryby mogą się do niego przyzwyczajać, a wtedy efekt odstrasżający jest tylko okresowy;
- W niektórych przypadkach dźwiękowe systemy odstrasżające dały dobre wyniki, w innych przeciwnie.

Koszty inwestycyjne systemów odstrasżających zależą od wielkości wlotu wody i natężenia przepływu i mieszczą się w zakresie od 40 000 do 200 000 euro.

4. Wyposażenie wlotów wody w systemy odzysku, które przywracają organizmy do środowiska bez uszkodzenia.

W dużych wlotach wody wyposażonych w przesuwane ekrany filtrujące, zmywanie organizmów następuje za pomocą pompy do ryb lub dysz na wodę pod niskim ciśnieniem (1 bar). W elektrowni u ujścia rzeki Gironde (Francja) takie systemy dały stosunkowo dobre efekty i pozwoliły ocalić od 80 do 100% krewetek, płastug i węgorzy. Inne próby były albo mniej skuteczne albo bardzo kosztowne.

Pierwsze dwa wymienione sposoby zapobiegania są lepsze niż dalsze działania, których skuteczność jest obecnie problematyczna. Nie istnieje żadna powszechnie stosowana metoda.

#### **17.3.4 Zmiany w środowisku wodnym spowodowane przez zanieczyszczenia środkami chemicznymi**

Pobieranie wody do chłodzenia może czasem być powodem zrzutu do środowiska środków chemicznych. Mogą do nich należeć w szczególności:

- środki stosowane do ochrony przed osadzaniem się kamienia w układach chłodzenia z wieżami chłodniczymi;
- środki stosowane do walki z rozwojem życia biologicznego oraz produkty reakcji niektórych z nich;
- siarczek żelaza stosowany w pewnych sytuacjach do antykorozyjnej ochrony skraplaczy wykonanych ze stopu miedzi;
- produkty korozji wymienników ciepła i rurociągów.



W wypadku **środowiska morskiego**, stosowanie biocydów ma na celu utrzymanie systemów w odpowiedniej czystości dla zapewnienia ich właściwej pracy. W układach chłodzenia na wodę morską najważniejsze jest, aby nie dopuścić do rozwoju mięczaków (małż, ostryg itp.). W tym celu obecnie stosuje się chlor. Jest on zwykle wytwarzany na miejscu w procesie elektrolizy wody morskiej. Pozwala to uniknąć niebezpieczeństw związanych z dowozem NaOCl. Chlorowanie może być ciągłe i okresowe (sezonowe) w zależności od wielu czynników, takich jak pogoda, jakość wody, konstrukcja układu chłodzenia czy typologia osadów biologicznych (okresy osiadania i tempo wzrostu).

Zwykle chlor stosuje się w małych dawkach tak, aby stężenie wolnego chloru w wylocie z systemu mieściło się w granicach od 0,1 do 0,5 mg/l (sporadycznie 0,7 mg/l). Wartość maksymalnego stężenia jest wyznaczana przez lokalne przepisy.

Jednak kiedy chlor wchodzi w reakcję z niektórymi związkami organicznymi, może tworzyć substancje organo-fluorowcowane (w wodzie morskiej głównie bromoform). Pomimo to niektóre badania wykazują, że stężenie bromoformu w strefie podgrzanej wody w pobliżu wylotu wody chłodzącej z elektrowni usytuowanej na wybrzeżu jest bardzo niskie (około 15 µg/l).

Może okazać się pomocne, aby w tym miejscu porównać tę wartość z naturalnym wytwarzaniem substancji organo-fluorowcowanych w oceanach. Na podstawie danych zebranych przez Grimvall i deLeera (1995) organo-fluorowce są produkowane w następujących ilościach:

- chlorometan: 5 000 000 t;
- bromometan: 300 000 t;
- jodometan: 300 000 t do 1 200 000 t;
- chloroform: 90 000 t do 360 000 t;
- bromoform: 500 000 t do 1 000 000 t;
- jodoform: nie wykrywalny w wodzie morskiej

Zmierzone naturalne stężenie w adsorbowlanych organicznych chlorowcach (AOX) mieści się w zakresie od 6 do 17 µg Cl/g osadu w Zatoce Botnickiej i od 50 do 180 µg Cl/g osadu w Zatoce Fińskiej. Obecność tych molekuł organo-fluorowcowanych jest wynikiem reakcji biofluorowcowania.

Chlorowanie jest chemiczną metodą uzdatniania, która chroni przed osadami i jest powszechnie stosowana do ochrony systemów w elektrowniach położonych na wybrzeżach. Innym utleniaczem, który został wypróbowany z dobrym rezultatem, jest dwutlenek chloru.

Od wielu lat w elektrowniach położonych na wybrzeżach do konstrukcji wymienników ciepła stosuje się stopy z dodatkiem tytanu. Z tego powodu korozja w tych układach jest nieznaczna lub nawet nie ma jej wcale. Jednakże istnieją nadal skraplacze wykonane ze stopów zawierających miedź, które są chronione przez powłokę z wodorotlenku żelaza wytworzonego poprzez dodanie do wody chłodzącej siarczanu żelaza.

W **elektrowniach położonych nad rzekami** oddziaływanie środków chemicznych zależy w dużym stopniu od typu systemu chłodzenia i wszelkich problemów biologicznych.



Ogólnie, praca w układzie recykulacyjnym powoduje **wzrost ryzyka osadzania się kamienia**. Wymaga to często zastosowania odpowiedniego sposobu uzdatniania wody uzupełniającej lub wody chłodzącej. Można zastosować następujące metody uzdatniania:

- brak uzdatniania, gdy woda nie jest bardzo mineralizowana,
- zmiękczenie wapnem wody uzupełniającej,
- obróbka (szczepienie) kwasem wody cyrkulacyjnej,
- obróbka z opóźniaczem strącającym,
- kombinacja następujących typów uzdatniania: szczepienia kwasem i inhibitorów przeciw osadzaniu się kamienia lub zmiękczenia wapnem i szczepienia kwasem.

Wybór metody uzdatniania zależy od wielu kryteriów. Należą do nich między innymi:

- współczynnik zagęszczenia;
- skład chemiczny wody w rzece;
- konstrukcja systemu chłodzenia.

Uzdatnianie zależy w następujący sposób od współczynnika zagęszczenia w układzie chłodzenia:

- przy niskim współczynniku zagęszczenia (1,05 do 1,2) uzdatnianie wody nie jest generalnie potrzebne;
- przy przeciętnym współczynniku zagęszczenia (1,2 do 2), gdy twardość wody jest wysoka, konieczne jest szczepienie kwasem wody obiegowej;
- przy wysokim współczynniku zagęszczenia (3 do 7) często jedynym możliwym rozwiązaniem jest zmiękczenie wapnem wody uzupełniającej, które może być uzupełniane lekkim szczepieniem kwasem.

**Szczepienie kwasem** może być przeprowadzane na trzy różne sposoby:

poprzez utrzymywanie pH w zakresie między 7,5 a 8,5, przez ograniczenie całkowitej zasadowości do 100 mg CaCO<sub>3</sub>/l (dla wody uzupełniającej z niską zawartością siarczanu) albo przez przestrzeganie przepisów, które wyznaczają zasadowość, twardość wapienną i temperaturę. W większości przypadków używa się kwasu siarkowego.

Celem **zmiękczenia wapnem** wody uzupełniającej jest podniesienie pH wody do 10, aby wytrącić wapń i część magnezu w postaci węglanu i wodorotlenku. Na wylocie z dekarbonizatora stężenie resztkowego wapnia waha się między 0,5 a 1 [mequivalent]. Jednakże jest ono połączone z węglanem, który odpowiada za znaczne osadzanie się kamienia kotłowego z uzdatnianej wody. Aby zachować równowagę w zdekarbonizowanej wodzie wykonuje się często szczepienie kwasem siarkowym. Zmiękczenie wapnem powoduje wytwarzanie znacznej ilości szlamu. Ponadto przez zwiększenie pH, zmiękczenie wapnem może spowodować wytrącenie się niektórych metali ciężkich, które będą obecne w wodzie zrzutowej.

Szlam, który jest rezultatem wytrącania w procesie zmiękczenia, zbiera się na dnie osadnika. Jest on zwykle przepompowywany do zagęszczacza szlamu, w którym przez dalsze osadzanie rośnie stężenie części stałych. Proces ten jest zwykle wspomagany przez podawanie polielektrolitu. Klarowna woda wraca do osadnika, a stężony szlam jest dalej osuszany w próżniowych filtrach bębnowych lub filtrach pasowych.

Zbrylony szlam powstały w wyniku osuszania z zawartością wody na poziomie około 50% jest usuwany na hałdy. Nie odnotowano żadnego wpływu na środowisko ze strony gromadzonego na hałdach szlamu po zmiękczeniu wody.

**Ciągle chlorowanie** układów obiegowych, które miało na celu wyeliminowanie osadu biologicznego powstającego na rurkach skraplacza już dawno temu zostało wyeliminowane i zastąpione metodami mechanicznymi (systemy Taprogge, Technos itp.). Pomimo tego, samo chlorowanie jest wciąż skuteczną metodą uzdatniania. W praktyce można zastosować pięć sposobów chlorowania:

- chlorowanie na zakończenie sezonu: na przykład ciągle chlorowanie z niskim stężeniem (0,5 mg/l) przez 2 do 4 tygodni na zakończenie okresu osiadania słodkowodnych małży prążkowanych *Dreissena polymorpha*;
- chlorowanie okresowe: kilka okresów ciągłego dodawania biocydu w czasie sezonu osiadania;
- chlorowanie nieregularne: częste krótkotrwałe dozowanie (na przykład raz na dzień lub raz na trzy dni, przez kilka minut do godziny);
- ciągle chlorowanie z niskim stężeniem w okresie osiadania. Na przykład, w Morzu Północnym i Kanale la Manche w celu wyeliminowania małż morskich chloruje się przez 7 miesięcy w roku ze stężeniem od 0,5 do 1,0 mg/l. Stężenie resztkowego utleniacza na wylocie z układu wynosi od 0,1 do 0,2 mg/l;
- półciągle chlorowanie polega na stosowaniu krótkich okresów dozowania (15 – 60 minut) i takich samych okresów bez dozowania. Dozowanie półciągle czy pulsacyjne z małym stężeniem jest stosowane w Kanadzie przeciwko małżom prążkowanym (Zebra) oraz we Francji i Holandii do ograniczania ilości małży morskich w elektrowniach.

**Intensywne chlorowanie czy dozowanie szokowe** jest szczególną metodą, która została opracowana w celu usuwania alg włóknistych, które występują w zbiornikach otwartych i w wypełnieniach wież chłodniczych. Stężenie w punkcie podawania dawki wynosi od 5 do 25 mg  $\text{Cl}_2/\text{l}$ . W celu uniknięcia uwalniania chloru do środowiska rurociągi wylotowe są zamykane na kilka godzin. Ich otwarcie następuje, gdy stężenie wolnego chloru w wodzie obiegowej spadnie poniżej maksymalnego stężenia zrzutowego. W zależności od lokalnych wymagań ta wartość może wynosić od 0,1 do 0,5 mg TRO/l. Niektóre wymagania lokalne są wyrażane według wielkości przepływu. Ten rodzaj uzdatniania nie jest stosowany we wszystkich obiektach.

Częstotliwość intensywnego dozowania zależy w dużym stopniu od jakości wody, współczynnika zagęszczenia i ogólnej czystości obiegu. Może być ono stosowane co tydzień, miesiąc czy kwartalnie.

Reakcja chloru z substancjami humusowymi i fulwowymi prowadzi do tworzenia się związków organo-chlorowcowanych. W rzeczywistości stężenie jonów bromku w wodzie rzecznej jest nieznaczące. W tych warunkach tworzą się tylko związki organo-chlorowcowane. Można również rozpoznać takie związki lotne, jak chloroform, dwuchlorometan, (POX) i adsorbowalne organiczne chlorowce (AOX).

Jednakże tak jak w przypadku wody morskiej, obecność węglowodanów chlorowcowanych w powierzchniowych wodach śródlądowych nie jest wyłącznie spowodowana chlorowaniem w układach chłodzenia. Do innych możliwych źródeł należą w szczególności rolnictwo i procesy naturalne. W czystych jeziorach – np. w Szwecji - stężenie adsorbowalnych organicznych chlorowców (AOX) wynosi od 10 do 190  $\mu\text{g Cl/l}$ . Najwyższe stężenia zostały odnotowane w jeziorach bardzo eutroficznych.

Wśród parametrów wpływających na reakcje, które powodują powstawanie węglowodanów chlorowcowanych w czasie dezynfekcji wody chłodzącej należy wymienić:

- stężenie humusowe i fulwowe,
- stężenie wolnego chloru,
- czas reakcji,
- pH środowiska,
- temperatura reakcji,
- obecność jonów amonu.

Te skomplikowane reakcje mogą zostać opisane i następnie potwierdzone przez pomiary na obiekcie.

Chlorowanie w systemach z jednorazowym przepływem nie powoduje znaczącego wzrostu ilości węglowodanów chlorowcowanych. Dzieje się tak, gdyż czas kontaktu jest bardzo krótki - maksymalnie około 10 minut, a stężenie wolnego chloru jest niskie. W zależności od stosowanej metody chlorowania, mierzone szczytowe stężenia POX i AOX wynoszą odpowiednio od 0 do 10  $\mu\text{g Cl/l}$  i od 20 do 150  $\mu\text{g Cl/l}$ . Te wartości odpowiadają stężeniu wolnego chloru w punkcie dozowania w przedziale między 0,5 i 10  $\text{mg/l}$ .

Chlorowanie w obiegu zamkniętym może prowadzić do większych stężeń związków organochlorowcowanych. Następujące czynniki pełnią negatywną rolę w tym procesie:

- dłuższy czas kontaktu
- cyrkulacja zwiększa stężenie prekursorów.

Należy także wspomnieć, że wzrost pH związany z uwalnianiem  $\text{CO}_2$  sprzyja tworzeniu się POX. Te zaś są łatwo przekazywane do atmosfery przez wieże chłodnicze.

Przy stężeniu wolnego chloru w punkcie dozowania pomiędzy 5 a 25  $\text{mg/l}$  i przy czasie kontaktu od 2 do 70 godzin stężenie POX wynosi od 0 do 10  $\mu\text{g Cl/l}$ , a stężenie NOX od 200 do 2 500  $\mu\text{g Cl/l}$ .

Należy jednak zauważyć, że obecność niewielkiej ilości jonów amonu w naturalnej wodzie może znacznie ograniczyć stężenie POX i AOX. Dzieje się tak, ponieważ kinetyka reakcji chlor- $\text{NH}_4^+$  jest szybsza niż kinetyka reakcji zachodzącej między chlorem a związkami aromatycznymi.

### 17.3.5 Inne szkodliwe skutki zastosowania niektórych układów chłodzenia

Zastosowanie wież chłodniczych z naturalnym i wymuszonym przepływem powietrza oraz wież hybrydowych lub skraplaczy i wież chłodniczych umożliwia w znacznym stopniu ograniczenie wymaganej wielkości przepływu wody w elektrowniach, co w konsekwencji pozwala na zmniejszenie oddziaływania na środowisko wodne. Jednakże obecność systemów chłodzenia może spowodować inne problemy. Dotyczą one w szczególności kwestii estetyki i hałasu pochodzącego z wież chłodniczych. W przypadku suchych wież chłodniczych oprócz powyższych dwóch aspektów, możliwe jest również wydalenie do powietrza produktów korozji powierzchni wymienników ciepła, a w szczególności wymienników lamelowych wykonanych ze stali ocynkowanej.

**Mokre wieże z naturalnym przepływem powietrza**, których surowa forma ogólnie nie jest rażąca, stanowią mimo wszystko konstrukcje widoczne z daleka, szczególnie w otwartym terenie.

Z drugiej strony, **mokre wieże z ciągiem wymuszonym**, których wygląd jest dużo bardziej dyskusyjny, mają tę zaletę, że są generalnie niższe niż inne główne elementy elektrowni.

Ponieważ dużo zależy od założeń przyjmowanych do wycen przez producentów tych urządzeń, trudno jest podać porównywalne parametry dla oceny powyższych dwóch rozwiązań.

Podobne uwagi dotyczą również **chłodnic i skraplaczy chłodzonych powietrzem**. Problem ich wielkości ma tu jednak jeszcze większe znaczenie, ponieważ niższa skuteczność wymiany ciepła w przypadku powietrza wymaga dużo większych konstrukcji. Ponadto w przypadku układów z wymuszonym przepływem powietrza energia potrzebna do napędzania wentylatorów stanowi 2% energii produkowanej przez jednostkę (blok) elektrowni. Systemy chłodzone powietrzem są trzy razy wyższe niż odpowiadające im pod względem wydajności wieże natryskowe lub mieszane.

Pewien szkodliwy efekt działania układów chłodniczych jest związany z hałasem wywołanym wlotem i wylotem powietrza. Nawet **dla wież z grawitacyjnym przepływem powietrza** hałas w promieniu 100 m może osiągnąć 60dBA. Dla **mokrych wież z wymuszonym przepływem powietrza i wież hybrydowych** poziom hałasu osiąga 70dBA przy tych samych warunkach, a w przypadku **skraplaczy powietrznych** dochodzi do 80dBA.

## 17.4 Wstępna analiza lokalizacji: niezbędne narzędzia dla oceny oczekiwanej wydajności, kontrola wpływu i zapobieganie szkodliwym efektom.

### 17.4.1 Analiza lokalizacji

Źródło chłodu jest jednym z zasadniczych elementów analizy przy wyborze lokalizacji. Właśnie dlatego już na wczesnym etapie należy zwrócić szczególną uwagę na problemy środowiskowe powodowane przez układy chłodzenia w elektrowniach. Jak wspomniano wcześniej, mogą wystąpić następujące typy problemów:

- podgrzanie wody w systemach jednorprzepływowych,
- oddziaływanie na jakość wody i na organizmy wodne w przypadku zastosowania natryskowych wieży chłodniczych,
- oddziaływanie na jakość powietrza w przypadku zastosowania wieży chłodniczych chłodzonych powietrzem,
- wpływ na warunki meteorologiczne, emisja substancji chemicznych oraz problemy z hałasem występujące niezależnie od zastosowanego układu chłodzenia.

Projektant nie jest bezsilny w obliczu występujących problemów. Wiedza nabyta w trakcie licznych obserwacji dokonanych w otoczeniu istniejących elektrowni stanowi solidne podstawy do odpowiedniego ukierunkowania badań, które są podejmowane przed budową nowej elektrowni.

## 17.4.2 Modelowanie matematyczne, symulacje na modelach oraz testy na obiektach pilotowych – pierwsze, niezbędne narzędzia projektowe

Wspomniane zostało zainteresowanie **modelowaniem numerycznym** dla przewidywania zmian termicznych w bliższym i dalszym otoczeniu.

Przy modelowaniu najbliższego otoczenia specjalistyczne narzędzia stosowane na poziomie emisji lokalnych służą do opisanie warunków rozchodzenia się ciepła. Modele te służą do określenia wymiarów struktur wylotowych z największą możliwą dokładnością, aby zapewnić optymalne warunki do najszybszego rozpraszania podgrzanej wody w otaczającym środowisku i tym samym zminimalizować skutki podgrzania (dane meteorologiczne i hydrobiologiczne).

Przy modelowaniu dalszego otoczenia wielkości podlegające ocenie są bardziej złożone. Dotyczą one nie tylko charakterystyki obciążonego środowiska, ale muszą również uwzględnić emisje pochodzące z innych zakładów. Dla opisanie takich przypadków powstały znacznie bardziej złożone modele. Uwzględniają one biologiczne parametry jakości wody i obecność zanieczyszczeń chemicznych. Obejmują także różnorodne źródła zanieczyszczeń i dostarczają oceny reakcji cieków wodnych lub jezior na termiczne i chemiczne zakłócenia oraz na nadmierną ilość pożywek (zjawisko eutrofizacji).

Istnieją także inne modele służące do symulacji łącznego wpływu kilku natryskowych wież chłodniczych zainstalowanych w tym samym miejscu.

Przewidywania oparte o modelowanie numeryczne muszą polegać zebranych w terenie danych i wiedzy eksperymentalnej. **Badania laboratoryjne i terenowe** są wymagane do określenia i optymalizacji systemów zapobiegających zanieczyszczeniom oraz okresowego czyszczenia instalacji. Badania biologiczne umożliwiają poznanie okresów rozmnażania i osiadania larw organizmów, jak również szybkość wzrostu głównych gatunków. Przeprowadzenie takich badań laboratoryjne i terenowe wymaga jednak dużo czasu. Analityczne metody prognozowania nie zostały jeszcze całkowicie potwierdzone w zakresie ochrony środowiska.

W celu ustalenia metody uzdatniania w systemie obiegowym, niezbędne są systematyczne testy na obiegach pilotowych. Celem tych badań jest oszacowanie ryzyka tworzenia się osadów, jak również wybór optymalnej metody uzdatniania i sposobu jej użytkowania. Wśród wielu badań laboratoryjnych dostępne są takie, które umożliwiają wizualizację parowania wody i zjawiska strefy podgrzanej

## 17.5 Dobór urządzeń i materiałów

### 17.5.1 Mokre chłodzenie

Jak wspomniano wcześniej, w systemach natryskowych mogą wystąpić następujące trzy rodzaje problemów:

- korozja,
- osadzanie się kamienia kotłowego,
- rozwój życia biologicznego.

Przez wiele lat wybór materiałów stosowanych do konstruowania przemysłowych systemów chłodzenia był skierowany na materiały odporne na korozję. Należy wspomnieć, że ciśnienie w skraplaczu w elektrowni wynosi około 35 mbar, ale może być niższe w układach, które zoptymalizowano dla osiągnięcia wyższej sprawności, a w szczególności, gdy warunki klimatyczne są sprzyjające. Ciśnienie to może być jednak wyższe w niesprzyjających warunkach klimatycznych, w których najmniejszy nawet wyciek prowadzi do zanieczyszczenia w układzie wodno – parowym. Zniszczenia powodowane przez te wycieki mogą być znaczne. Mogą zmniejszyć wydajność układu, a nawet doprowadzić do jego wyłączenia.

Aby uniknąć zanieczyszczenia wody surowej układu wodno – parowego, wybór materiałów został oparty na stopach metali wysoko odpornych na korozję. W układach bazujących na wodzie morskiej i słonawej zazwyczaj wykorzystywany jest tytan. Dla wody rzecznej (słodkiej) rury skraplaczy są wykonane ze stali nierdzewnej 316L (lub nawet stali o większej zawartości molibdenu, jeżeli stężenie jonów chloru jest powyżej 100mg/l), z mosiądzu, a czasami z tytanu. W celu obniżenia ryzyka odkładania się osadów (sedymentacja i rozwój biologiczny) w rurach, minimalna średnia prędkość przepływu dla mosiądzu ustalana jest na poziomie 1,8 m/s. W przypadku innych materiałów takich, jak stal nierdzewna i tytan, maksymalna średnia prędkość jest znacznie wyższa. Dobór średniej prędkości jest w rzeczywistości rezultatem optymalizacji, która uwzględnia zależność zużycia energii do pompowania cieczy od prędkości jej przepływu. Ogólnie optymalizacja w przypadku instalacji za stali nierdzewnej lub tytanu oznacza prędkość przepływu w zakresie od 1,8 do 2,5 m/s.

Dna sitowe są z reguły wykonane z powlekanej stali węglowej lub tytanu. Właściwe malowanie (powłoki epoksydowe lub ebonitowe) zabezpiecza miejsca kontaktu z wodą obiegową. W celu rozwiązania problemu korozji galwanicznej w szczególnych przypadkach stosowano urządzenia do ochrony katodowej.

Nawet tak bogate stopy, jak stal nierdzewna mogą być narażone na korozję tworzącą się pod osadami. Aby uniknąć tego typu sytuacji, rury muszą pozostać czyste w każdych okolicznościach. Można to osiągnąć dwiema metodami:

- poprzez dodawanie szybko reagujących biocydów utleniających, np. chloru,
- poprzez procesy mechanicznego czyszczenia. Znanych jest kilka takich metod. Polegają one na wtrysku szczotek lub kulek piankowych, które są odzyskiwane i ponownie używane.

Potrzeba ograniczenia użycia środków chemicznych narzuciła stosowanie drugiej metody.

W celu uniknięcia korodowania stali nierdzewnych zaleca się stosowanie specjalnej procedury zabezpieczania rur, która jest stosowana podczas zatrzymania pracy instalacji. Procedura ta polega na opróżnianiu, myciu i osuszaniu rur.

Główny wymiennik ciepła pomocniczego układu chłodzenia zwykle składa się z chłodnic wykonanych ze stali węglowej lub stali nierdzewnej. Odstęp pomiędzy płytami jest względnie mały, co czasami prowadzi do zamulenia wnętrza. Jednakże systemy te pracują według zasady „jeden z dwóch” lub „dwa z trzech”. Innymi słowy, praca jednego lub dwóch systemów jest wystarczająca dla zapewnienia chłodzenia układów pomocniczych, natomiast dodatkowy system stanowi zabezpieczenie. Taki projekt układu pozwala na okresowe czyszczenie, polegające na demontażu dodatkowego wymiennika ciepła i czyszczeniu płyt wodą pod ciśnieniem.



Układy napełniania i spustu, główne rurociągi wody obiegowej oraz wieże chłodnicze wykonane są ze wzmocnionego betonu. Wybór użytego cementu zależy od używanej metody uzdatniania wody obiegowej. W przypadku stosowania szczepienia kwasem solnym czasami niezbędne jest użycie specjalnych cementów. Zalecany jest również dodatek lotnych popiołów. W przypadku wysokiego stężenia kwasu siarkowego wymagane jest użycie specjalnych pokryć.

**Wypełnienia** wież chłodniczych są z reguły wykonane z materiałów termoplastycznych. Podczas ich wytwarzania używa się specjalnych dodatków, by zapewnić im ognioodporność. Ryzyko pożaru wypełnień jest szczególnie wysokie podczas procesu konserwacji. Dzięki takiemu postępowaniu unikamy problemu z azbestem, który był używany we wcześniejszym okresie. Ostatnie badania umożliwiły wzrost własności termodynamicznych wypełnienia. Wybór lekkich materiałów syntetycznych i ulepszenie ich charakterystyk pozwoliły na znaczne zmniejszenie rozmiarów wież chłodniczych o tej samej wydajności cieplnej. Obecnie stosowane profile wykazują większą czułość na zanieczyszczenia (biologiczne) i osadzanie się kamienia.

Wybór wypełnień zależy od kilku czynników. Dobór odpowiedniego profilu zależy w większym stopniu od jakości wody (obecność substancji zawieszonych, tendencja do tworzenia osadów), niż od wymaganych poziomów emisji. W tej kwestii producenci wciąż mają wiele do zrobienia. Idealny profil to oczywiście taki profil, który gwarantuje wysoką wydajność i małą wrażliwość na zanieczyszczenia i osady.

Używane obecnie standardowe **odkraplacze** umożliwiają ograniczenie ilości porywanej wody do 0,01%, lub mniej w stosunku do całkowitego natężenia przepływu. W przypadku instalacji wybudowanych w pobliżu głównych dróg transportowych, wartości te powinny być jeszcze niższe. W takich przypadkach kompensacja strat wydajności jest niezbędna. Oddzielacze są także wykonywane z plastiku.

Część **energii zużytej na przepompowanie cieczy** może być odzyskiwana poprzez instalację wież chłodniczych wyposażonych w rekuperatory zlokalizowane pod wypełnieniem. Tak wyposażone wieże są jednak bardzo wrażliwe na zamarzanie. Zanim zastosuje się to rozwiązanie, należy wziąć pod uwagę lokalne warunki klimatyczne.

### 17.5.2 Chłodzenie hybrydowe (mieszane)

Hybrydowe wieże chłodnicze są zalecane przy specjalnych warunkach lokalnych. Istotą tego typu wież jest kombinacja procesów wyparnych z procesami niewyparnymi. Pozwala to na zmniejszenie wilgotności względnej, co z kolei powoduje prawie całkowity zanik chmury oparów na wylocie wieży chłodniczej. W połączeniu z wymuszonym przepływem powietrza możliwe jest znaczące zredukowanie wysokości wieży. Koszty inwestycyjne są jednak wyższe w porównaniu z kosztami zastosowania natryskowych wież chłodniczych.

Zasadniczo zużycie energii elektrycznej związanej z pracą wentylatorów i wyższą temperaturą źródła zimna powoduje niższą wydajność obiegu i wyższe zużycie paliwa.



### 17.5.3 Chłodzenie powietrzem

Chłodzenie powietrzem (tzw. „suche chłodzenie”) jest wykorzystywane głównie na obszarach z niewystarczającymi zasobami wodnymi.

#### 17.5.3.1 Skraplacze powietrzne z wymuszonym obiegiem powietrza (rysunek XII.9, część XII.11)

Para wychodząca z turbiny parowej jest kierowana do skraplacza chłodzonego powietrzem, w którym przepływa przez dużą ilość żebrowanych rur. Przepływ powietrza chłodzącego poprzez wiązki rur jest wymuszony przez wentylator. Para oddaje ciepło bezpośrednio do atmosfery poprzez ożebrowane rury, skrapla się i spływa grawitacyjnie do zbiornika kondensatu, a następnie powraca do kotła. Typowa konstrukcja wymiennika ciepła obejmuje skraplacz z ramą typu A (jest również możliwa inna konstrukcja skraplacza, która pomieści rury, wentylator i konstrukcję stalową).

Duże skraplacze chłodzone powietrzem mają z reguły długie i złożone systemy rur parowych, które mogą powodować zamulenie i problemy ze spadkiem ciśnienia. Aby zminimalizować straty ciśnienia w przewodach parowych, węzownice chłodzące są z reguły umieszczane w sąsiedztwie pomieszczenia turbiny. W zależności od warunków lokalnych, skraplacz chłodzony powietrzem może być dostosowany do potrzeb bloków elektrowni w dużym zakresie wielkości.

W porównaniu z systemami natryskowymi, skuteczność układów chłodzonych powietrzem w oddawaniu ciepła do atmosfery jest względnie niska z uwagi na temperaturę wody chłodzonej, która ustala się na poziomie temperatury suchego termometru. System musi być zaprojektowany w taki sposób, aby uniknąć tworzenia martwych stref, w których gromadzą się gazy nieskrapające się, a w ten sposób wyeliminować niebezpieczeństwo przechłodzenia kondensatu lub zamarzania. Wykonanie węzownic musi być na tyle solidne i wytrzymałe, aby umożliwić okresowe czyszczenie powierzchni zewnętrznych wodą pod wysokim ciśnieniem w celu utrzymania wydajności systemu na właściwym poziomie. Jednak stosując chłodzenie suche w skraplaczach powietrznych unika się stosowania dużych wież chłodniczych, eliminuje się powstawanie chmur oparów i zmniejsza zużycie wody. Używając wentylatorów o niskim poziomie hałasu można spełnić surowe normy odnośnie hałasu.

W porównaniu z suchymi systemami chłodzenia z obiegiem pośrednim, układy bezpośrednie ze skraplaczem powietrznym zapewniają wyższą różnicę temperatury pomiędzy skraplającą się parą i powietrzem chłodzącym. Systemy bezpośrednie będą charakteryzowały się mniejszą powierzchnią wymiany ciepła. Systemy chłodzenia pośredniego, które składają się z dwóch procesów wymiany ciepła (skraplacz pary i wymiennik ciepła chłodzony powietrzem), będą natomiast wymagały zastosowania większej powierzchni wymiany ciepła i/lub wzrostu przepływu powietrza. Koszty inwestycyjne dla systemu bezpośredniego będą niższe niż koszty systemu pośredniego, w przypadku którego należy uwzględnić także koszty pomp recyrkulacyjnych i dodatkową powierzchnię skraplacza. Z drugiej strony dodatkowe zużycie energii i wymagania konserwacyjne dla bezpośrednich systemów skraplania z wymuszonym przepływem będą znacznie większe niż dla wież suchych z naturalnym obiegiem powietrza.

### **17.5.3.2 Skraplacze powietrzne z grawitacyjnym obiegiem powietrza (rysunek XII.10, część XII.11)**

Umieszczenie bezpośredniego skraplacza powietrznego wewnątrz wieży z obiegiem grawitacyjnym sprawia, że może on funkcjonować jako skraplacz powietrzny z obiegiem wymuszonym. Wadą wież z grawitacyjnym obiegiem powietrza jest jednak to, że muszą być one znacznie wyższe, co pociąga za sobą zwiększone nakłady inwestycyjne. Na przykład, koszty samej wieży, trasy wielkich przewodów wyrzutowych pary do wieży chłodniczej i większa powierzchnia wymiany ciepła dla wież z obiegiem grawitacyjnym mogą być o połowę mniejsze od tych, które są wymagane przy układach z wymuszonym obiegiem powietrza.

Zalety skraplaczy powietrznych z grawitacyjnym obiegiem powietrza mogą być następujące:

- niska emisja lub całkowity brak hałasu,
- redukcja lub brak recyrkulacji powietrza w wieży ze względu na jej wysokość,
- brak potrzeby konserwacji wentylatorów, napędów i pomp wody obiegowej,
- brak dodatkowego poboru mocy przy skraplaniu pary.

### **17.5.3.3 Suche wieże chłodnicze z obiegiem zamkniętym (rysunek XII.11, część XII.11)**

W suchych wieżach chłodniczych woda przepływa przez chłodzone elementy w układzie zamkniętym. Ciepło odpadowe jest oddawane wyłącznie przez konwekcję. Brak rozpraszania ciepła wywołanego odparowaniem wody prowadzi do znacznego wzrostu temperatury wody chłodzącej, a w ten sposób do niskiej sprawności w porównaniu z układami natryskowymi.

Dla suchych wież chłodniczych mamy dwa możliwe rozwiązania przepływu wody:

- chłodzenie w obiegu zamkniętym z suchą wieżą chłodniczą, jako chłodzenie bezpośrednie w połączeniu ze skraplaczem powierzchniowym,
- chłodzenie w obiegu zamkniętym z wieżą chłodniczą powietrzem, jako chłodzenie bezpośrednie w połączeniu ze skraplaczem wtryskowym.

Zalety chłodzenia powietrzem są następujące:

- brak powstawania chmury oparów,
- łatwe ustawienie i pomiar parametrów chemicznych wody obiegowej,
- brak potrzeby wymiany wody podczas pracy systemu (jedynie uzupełnianie możliwych wycieków).

W porównaniu z układami natryskowymi chłodzenie powietrzem posiada następujące wady:

- znacznie wyższe koszty inwestycyjne i operacyjne,
- znacznie większe rozmiary budynku,
- większy wpływ temperatury zewnętrznej (lato, zima) na wydajność chłodniczą,
- praca w okresie zimowym wymaga stosowania specjalnych środków zapobiegających zamarzaniu podczas postoju,
- tendencja do zanieczyszczania elementów systemu, co wymaga posiadania na miejscu odpowiedniego urządzenia do czyszczenia.

#### 17.5.4 Wieże chłodnicze z wyrzutem oczyszczonych gazów spalinowych (rysunek XII.12, część XII.11)

W ostatnich latach emisja odsiarczonych gazów spalinowych przez wieże chłodnicze (jako alternatywa dla emisji poprzez kominy) w elektrowniach zużywających paliwa kopalne okazała się bardziej przyjazna ze względu na aspekty środowiskowe i ekonomiczne. Wyrzut gazów spalinowych do wyższych partii atmosfery jest uzyskiwany poprzez różnicę w gęstości między mieszaniną gazów spalinowych i chmury wodnej wewnątrz wieży względem zimnego powietrza zewnętrznego, a nie przez wyższą temperaturę samych gazów spalinowych. Stosując tę metodę uzyskujemy wzrost wydajności elektrowni.

Instalacje odsiarczania gazów spalinowych w elektrowniach opalanych węglem z reguły pracują na zasadzie mokrego odsiarczania. Mokre oczyszczanie chłodzi gorące gazy spalinowe do temperatury pomiędzy 50 a 70°C. Niższa szkodliwość dla środowiska i bezproblemowa emisja gazów oczyszczonych poprzez kominy jest uzyskiwana poprzez dodatkowe ogrzewanie, które wymaga wykorzystania dodatkowej energii. Alternatywą dla tego procesu jest emisja gazów przez wieże chłodnicze z naturalnym obiegiem, która do tej pory była stosowana wyłącznie przy natryskowych układach chłodzenia. Oczyszczone gazy są wprowadzane do wieży chłodniczej nad wężownicę, a następnie emitowane do atmosfery razem z oparami z wieży chłodniczej.

Wewnętrzna strona wieży chłodniczej wraz górnym pierścieniem konstrukcji musi być w całości **pokryta powłoką antykorozyjną**. Przy wlocie oczyszczonych gazów spalinowych do wieży kondensat może spływać po ściankach wieży, co wykazuje, w porównaniu z betonem, wysoką agresywność korozyjną ze względu na niską wartość współczynnika pH.

Części betonowe wewnętrznej konstrukcji, jak np. górne ramy wypełnienia wspierające konstrukcje segmentów kanału i kopuły kanału wznoszącego muszą być pokryte tak samo, jak wewnętrzna strona ścianek. Części metalowe takie, jak drabinki i schodki, które mogą mieć kontakt z kondensatem o kwasowym odczynie muszą być wykonane ze specjalnej stali nierdzewnej.

**Kanał oczyszczonych gazów** prowadzi spaliny z budynku odsiarczania gazów spalinowych (FGD<sup>21</sup>) do środka wieży chłodniczej. Może być on umieszczony w wieży chłodniczej na wysokości wylotu FGD (wysokie wynoszenia) lub zaraz ponad wewnętrznym wypełnieniem wieży (niskie wynoszenie). Maksymalna średnica kanału wynosi około 8 m.

Kanał oczyszczonych gazów spalinowych powinien być wykonany z włókna szklanego wzmocnianego winylem lub materiałem równoważnym. Wylot kanału powinien być wyłożony materiałami chemicznie odpornymi na bazie żywic akrylowych i tkanin kwasoodpornych wykonanych z włókna szklanego ECR.

Z powodu powstawania kondensatu wewnątrz kanału, powinien on posiadać nieznaczny spadek w kierunku wieży chłodniczej. Wylot kanału dla czystych gazów powinien być zaopatrzony w specjalny kanał prowadzący do zbiornika wieży chłodniczej

<sup>21</sup> Flue gas desulphurisation- odsiarczanie gazów spalinowych

## 17.6 Porównanie kosztów pomiędzy różnymi typami wież chłodniczych

Wyróżniamy następujące elementy składające się na koszty systemów chłodniczych:

- koszty inwestycyjne,
- koszty związane ze zużyciem energii (np. sprawność),
- koszty eksploatacyjne.

W przypadku elektrowni koszty operacyjne związane ze zużyciem energii muszą uwzględniać zysk finansowy, który wiąże się z różnicą efektywności różnych opcji. Przy porównywaniu różnych opcji stosuje się metody socjoekonomiczne oparte na „aktualizowanym” bilansie ze współczynnikiem „aktualizacji”, który jest różny dla różnych krajów (np. 8% we Francji, 5% w Niemczech i we Włoszech, 10% w Portugalii). Metoda ta została opisana w opracowaniu L. Caudron, „Les réfrigérants atmosphériques industriels”, Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, 1991.

Bilans „aktualizowany” składa się z:

- inwestycji oraz kosztów pośrednich związanych z rozwiązaniami technicznymi, które przyjmuje się jako  $I$ ,
- „aktualizowanych” wydatków algebraicznych (eksploatacja urządzeń) i wpływów podczas pracy (produkcja podczas szacowanego okresu eksploatacji instalacji  $\langle\langle t_f \rangle\rangle$ ),
- $\langle\langle P_i \rangle\rangle$ , który jest bilansem wydatków i wpływów podczas jednego roku  $\langle\langle i \rangle\rangle$  szacowanych w połowie roku.

Bilans jest przedstawiany jako następujące równanie, gdzie  $\langle\langle \alpha \rangle\rangle$  jest współczynnikiem aktualizacji:

$$I + \sum_{i=1}^{i=t_f} P_i / ((1 + \alpha)^{i-\frac{1}{2}})$$

Gdy koszty mają wartość dodatnią, kryterium wyboru pomiędzy różnymi rozwiązaniami jest najniższy bilans aktualizacji.

W przypadku wież chłodniczych z wymuszonym obiegiem można przypuszczać, że koszty utrzymania są bardzo podobne ze względu na powiązania z kosztami utrzymania wentylatorów. Należy brać pod uwagę dwa pierwsze kryteria i jako punkt odniesienia wybierać najmniej kosztowne rozwiązanie. Tabela XII.3 pokazuje, że systemy natryskowe są znacznie bardziej ekonomiczne niż systemy suche, a systemy z grawitacyjnym obiegiem powietrza są bardziej ekonomiczne niż te z obiegiem wymuszonym. Z ekonomicznego punktu widzenia układy chłodzone powietrzem będą mniej polecane ze względu na to, że są bardziej kosztowne i mają większy wpływ na koszt 1 kWh. Systemy „suche” mogą być polecane tylko w przypadku braku wody.

**Tabela XII.3: Porównanie różnych typów systemów chłodzenia obiegowego z czasem pracy 25 lat i współczynnikiem aktualizacji 8% (badania na jednostkach EDF o mocy 1300 MWe) [L. Caudron, „Les réfrigérants atmosphériques industriels”, wydawnictwo Eyrolles]**

Typ systemu chłodzenia	Natryskowa wieża chłodnicza		Wieża chłodnicza sucha/mokra	„Suche” wieże chłodnicze	
	obieg grawitacyjny	obieg wymuszony	obieg wymuszony	obieg grawitacyjny	obieg wymuszony
Osiągnięte K (suche powietrze 11°C/powietrze wilgotne 9°C)	12,5	12,5	13,5	16	17
<b>Nominalne ciśnienie skraplania (mbar)</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>66</b>	<b>82</b>	<b>80</b>
Moc cieplna (MWth)	2458				
Dostarczona moc elektryczna (MWe)	1285	1275	1275	1260	1240
Moc wentylatorów MW	0	10	12	0	26
Moc pomp MW	13	13	8	14	13
Koszty chłodzenia	1	1,25	2,3	5,7	4,8
Koszty cold end	1	1,1	1,6	3,6	3,1
Różnica kosztów kWh/koszt kWh (%)	0	1,0	2,4	8,4	8,9

**Tabela XII.4: Porównanie mokrych wież i skraplaczy chłodzonych powietrzem z czasem pracy 20 lat i współczynnikiem aktualizacji 8% dla obiegu skojarzonego jednostki o mocy 290MWth**

Typ systemu chłodzącego	Systemy jednorprzeływowe	Wieże mokre		Skraplacz chłodzony powietrzem
		obieg naturalny	obieg wymuszony	
Osiągnięte K (suche powietrze 11°C/powietrze wilgotne 9°C)	/	~8	~8	~29
<b>Nominalne ciśnienie skraplania (mbar)</b>	<b>34</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>74</b>
Moc cieplna (MWth)	290	290	290	290
<b>Różnica w dostarczonej energii elektrycznej</b>	<b>+ 0,6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-1,8</b>
Moc pomp i wentylatorów MW	1,9	1,95	3	5,8
Całkowita różnica w mocy elektrycznej (MEuro)	-4,7	-2,9	0	12,6
Różnica w kosztach zużycia wody (MEuro)	-8,9	-8,9	0	0

Różnica w kosztach systemu chłodzącego (MEuro)	-3,0	1,9	0	8,9
Koszty systemu chłodzącego	0,82	1,11	1	1,54
<b>Całkowity bilans kosztów (MEuro)</b>	<b>-16,5</b>	<b>-1,0</b>	<b>0</b>	<b>12,6</b>

Takie samo porównanie można wykonać dla systemów skojarzonych. Tabela XII.4 pokazuje, że systemy suche są bardziej kosztowne w porównaniu z systemami natryskowymi, jednak różnica jest mniejsza w porównaniu z elektrowniami konwencjonalnymi. Różnica pomiędzy systemami z grawitacyjnym i wymuszonym obiegiem powietrza jest mniejsza, stąd oba układy są mniej więcej porównywalne. Systemy natryskowe wybierane częściej niż suche. Koszty utrzymania, ewentualne podatki za uzupełnienie lub zrzuty wody, a także koszty środków chemicznych niezbędnych do uzdatniania wody nie zostały ujęte w tej tabeli. Może to powodować pewne niedoszacowanie kosztów systemów natryskowych i przeszacowanie kosztów systemów suchych. Z tego powodu systemy suche mogą być polecane w zależności od kosztów wody i kosztów uzdatniania wody (dla systemów natryskowych) lub brane pod uwagę przy uwzględnieniu czasu pracy elektrowni. Krótszy czas pracy zmniejsza różnice pomiędzy systemami suchymi a natryskowymi.

Ważnym wskaźnikiem w porównaniu kosztów jest sprawność, a raczej straty sprawności, podczas chłodzenia z wykorzystaniem mniej wydajnych systemów. Strata jest mierzona w bezwymiarowym wskaźniku energetyczno – temperaturowym  $kW_{th}/MW_{th}$  na każdy stopień różnicy temperatury wody chłodzącej (w K). Ten współczynnik jest wyprowadzony w następującym teoretycznym przykładzie [Paping, informacja własna].

Z definicji para wodna przy ciśnieniu 100 bar i temperaturze 530°C ma entalpię 3451 kJ/kg, z tego uzyskujemy na podstawie wykresu Moliera:

50 [mbar]	32,7 [°C]	2110 [kJ/kg]
60 [mbar]	35,6 [°C]	2130 [kJ/kg]
70 [mbar]	38,8 [°C]	2150 [kJ/kg]

Wspomniane powyżej podciśnienia i związane z nimi temperatury skraplania są także powiązane ze średnią temperaturą wody chłodzącej w Europie, która wynosi 15°C wraz ze wzrostem temperatury wody w samym skraplaczu o 10°C.

Uwzględniając współczynnik przewodzenia skraplacza, kondensat będzie miał temperaturę 30°C i ciśnienie na poziomie 43 mbar (patrz tabela XII.3 i XII.4). Stąd w celu obliczenia współczynnika termiczno – energetycznego dla wzrostu temperatur wpływających na chłodzenie obliczenia zaczyna się od 50 mbar.

Sprawność jest obliczana na podstawie obiegu Carnota i wynosi ona zwykle około 40% dla elektrowni konwencjonalnych.

$$\text{przy 50 mbar} = (3451 - 2110)/(3451 - 4,18 \times 32,7) \times 100 = 40,4609\%$$

$$\text{przy 60 mbar} = (3451 - 2130)/(3451 - 4,18 \times 35,6) \times 100 = 40,0037\%$$

$$\text{przy 70 mbar} = (3451 - 2150)/(3451 - 4,18 \times 38,8) \times 100 = 39,5583\%$$



Minimalne straty sprawności wyrażone na stopień różnicy temperatur przy idealnych warunkach termodynamicznych wynoszą:

różnica sprawności pomiędzy 50 mbar a 60 mbar = 4,572 ‰ na 2,9 K różnicy  
 różnica sprawności pomiędzy 60 mbar a 70 mbar = 4,454 ‰ na 3,2 K różnicy  
 różnica sprawności pomiędzy 50 mbar a 70 mbar = 9,026 ‰ na 6,1 K różnicy

Straty sprawności mogą być następnie wyrażone w odniesieniu do całkowitej sprawności i na stopień K:

$$4,572 \text{ ‰} / (2,9 \text{ K} \times 0,4) = 3,9 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} \text{ na stopień K}$$

$$4,454 \text{ ‰} / (3,2 \text{ K} \times 0,4) = 3,5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} \text{ na stopień K}$$

$$9,026 \text{ ‰} / (6,1 \text{ K} \times 0,4) = 3,7 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} \text{ na stopień K}$$

Z tych prostych obliczeń wynika, że dla sprawności 40% strata lub zysk na każdy stopień różnicy temperatury wody chłodzącej mogą być oszacowane przy użyciu współczynnika 3,5 kW<sub>th</sub>/MW<sub>th</sub> na stopień K.

## 17.7 Wybór alternatywnych metod uzdatniania wody – monitoring

Jak wspomniano wcześniej, problem korozji rzadko pojawia się w systemach chłodzenia elektrowni. Dlatego też w natryskowych systemach chłodzenia chłodzonych nawet wodą surową nie jest niezbędne użycie inhibitorów korozji.

### 17.7.1 Uzdatnianie w celu zapobiegania tworzeniu się osadów kamienia kotłowego

W systemach chłodzenia natryskowego jedyną drogą do zmniejszenia wyrzutu ciepła do środowiska wodnego jest recyrkulacja wody chłodzącej. Takie postępowanie powoduje wzrost współczynnika zagęszczenia (tabela XII.5). Jest ono zwykle stosowane w elektrowniach zlokalizowanych przy ciekach wodnych w głębi kraju i przy ujściach rzek.

Wzrost stężenia powoduje wytrącenie soli wapiennych (węglu, siarki i fosforu), które nie są dobrze rozpuszczalne. Osadem najczęściej spotykanym jest węglan wapnia. Osadza się na rurkach skraplaczy i w wypełnieniu wież chłodniczych, co prowadzi do spadku sprawności. Znane są dwa sposoby zapobiegania wytrącaniu się węglanu wapnia w systemach chłodzenia. Pierwszy z nich to zmiękczenie wody wapniem, drugi to szczepienie wody kwasem siarkowym lub chlorowodorowym.

**Tabela XII.5 Powiązania między współczynnikiem zagęszczenia, przepływem wody zrzutowej i energią oddawaną do cieku wodnego (przykład indywidualny)**

Współczynnik stężenia	Przepływ wody zrzutowej (m <sup>3</sup> /h)	Energia oddawana do cieku wodnego (%)
1	36000	100
1,2	3600	8,3
1,3	2600	5,5

1,4	2100	4,2
1,5	1800	3,3
2,0	1200	1,7
3,0	900	0,8
4,0	800	0,5
5,0	750	0,4
6,0	720	0,3

Tylko organiczne inhibitory zapobiegające osadom, dla których dostępne są pełne dane toksykologiczne są dopuszczone do użytku. Jednak ich stosowanie jest wysoce ograniczone. Posiadane dane ekotoksykologiczne są bowiem często niewystarczające. Po przedostaniu się do cieków wodnych substancje te mogą zakłócić pracę układów uzdatniania wody zakładów przemysłowych zlokalizowanych poniżej punktu emisji.

**Elektrownie położone w pobliżu wybrzeży** są przede wszystkim chłodzone systemem jednaprzepływowym. W celu zmniejszenia obciążenia cieplnego mogą zostać instalowane wieże chłodnicze służące do dochłodzenia. Wybór tego rozwiązania z reguły zależy od warunków lokalnych (pływów, mieszania, itp.)

Z drugiej strony obieg słonej (morskiej) wody wykorzystywany jest jedynie w wyjątkowych sytuacjach. Duże współczynniki stężenia mogą powodować wytrącanie różnych osadów (węglan wapnia, siarczan wapnia, siarczan baru, itp.). Osadzanie się węglanu wapnia można uniknąć poprzez dodatek kwasu, jednak dla innych soli metoda ta nie daje rezultatu. Wówczas należy używać inhibitorów organicznych (fosforany, poliakryle, kopolimery, itp.).

### 17.7.2 Uzdatnianie zapobiegające powstawaniu osadów biologicznych (biocydy)

Przegląd uzyskanych w Europie doświadczeń w metodach redukcji zanieczyszczeń biologicznych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

**Czyszczenie mechaniczne** systemów i **filtracja wody** są najczęściej stosowanymi metodami uzdatniania zapobiegającymi powstawaniu osadów biologicznych w instalacjach przemysłowych. Wymagają one ciągłego czyszczenia rur skraplaczy za pomocą piankowych kulek lub szczotek, czyszczenia ręcznego, używania grabek lub filtrów z siatką o różnych średnicach oczek.

Do zapobiegania zarastaniu systemów przemysłowych często używane są również **następujące trzy metody fizyczne**:

- ustalenie wysokich prędkości przepływu w celu uniknięcia osadzania się organizmów żywych ( $v > 2$  m/s); ta metoda jest obecnie szeroko stosowana;
- podnoszenie temperatury powyżej 40°C na kilkadziesiąt minut; ta metoda eliminuje osadzanie się organizmów (np. małży), jednak wymaga właściwego zaprojektowania systemu chłodniczego;
- powłoki i farby, które redukują osadzanie się organizmów, wzmacniają efekty wpływu prędkości i ułatwiają czyszczenie; jednakże powłoki te są drogie i muszą być odnawiane co 4-5 lat.

Czasami stosuje się inne techniki, a w szczególności:

- osuszanie,
- montaż specjalnych filtrów (przeciw małzom).

Metody fizyczne mogą być stosowane zarówno w przypadku wody słodkiej, jak i morskiej.

W kilku przypadkach stosuje się nie chemiczne uzdatnianie w postaci promieniowania UV.

**Uzdatnianie chemiczne** może być stosowane w sytuacjach, gdy metody fizyczne są niewłaściwe i dają słaby efekt. Środkami takimi są substancje utleniające: chlor, chloramina, ClO<sub>2</sub> i ozon. Niektóre organiczne składniki ulegające degradacji dodawane okresowo i środki nie toksyczne dla środowiska mogą być alternatywą dla chlorowania. Spośród nich polimery aminowe wydają się być obiecujące jako substancje antykorozyjne, jednak jak dotąd okresowe uzdatnianie siarkowo – żelazowe było znacznie wydajniejszą metodą.

### 17.7.3 Monitoring

Biorąc pod uwagę przepływ wody w systemach chłodzących elektrowni nie można wyobrazić sobie pracy instalacji bez zaangażowania systemów monitoringu i sterowania. Ten sam wniosek dotyczy również problemów związanych z osadami i rozwojem biologicznym.

Aby zapobiec osadzaniu, kontrolowane dodawanie kwasu do wody obiegowej jest głównym zadaniem systemu ciągłego monitoringu parametrów fizykochemicznych, takich jak alkaliczność, twardość wapniowa, przewodność, temperatura na wylocie skraplacza. Komputer wykorzystuje te dane jako podstawę do wyznaczenia specjalnego współczynnika osadzania i porównuje to z wartością nastawioną. W razie potrzeby uruchamiana jest pompa dozująca środki chemiczne. Dokładniejsze metody pomiaru są stosowane w miejscach wysokiego ryzyka. Składają się one z pomiaru krytycznego pH 4 i innych parametrów.

W przypadku monitorowania **rozwiązań biologicznych**, wiele typów czujników już istnieje lub jest obecnie wdrażanych. Wśród nich należy wspomnieć o biomonitorach i czujnikach elektrochemicznych.

Pożądanym jest pomiar jakości odprowadzonej wody w celu monitorowania wielkości takich jak: temperatura, zawartość tlenu, pH, przewodność, itp.

## 17.8 Projektowanie systemów chłodzenia

Jednym z istotnych elementów projektowania systemów chłodzących jest fakt, że wybór wież chłodniczych w danym miejscu może być zależny od wielu czynników. Najbardziej oczywistym z nich jest charakterystyka lokalizacji.

### 17.8.1 Projektowanie i odzysk energii

W konwencjonalnych elektrowniach cykl termodynamiczny narzuca całkowitą sprawność urządzeń. Ekonomizer, przegrzewacz i przegrzewacz wtórny usprawniają pracę kotła. Nisko- i wysokociśnieniowe przegrzewacze podnoszą temperaturę wody zasilającej poprzez odzyskiwanie części energii z wykorzystaniem upustu pary. W celu zredukowania poboru mocy elektrycznej przez urządzenia pomocnicze, używane są również pompy wody zasilającej zasilane turbiną, która wykorzystuje upust pary. Powietrze podawane do spalania jest podgrzewane przez specjalne podgrzewacze przed wejściem do kotła. Wszystkie te urządzenia mają na celu **ograniczenie strat energii obiegu termodynamicznego**.

Prawa termodynamiki regulują straty energii w skraplaczu.

Oszczędności energii w systemie chłodzenia można osiągnąć przede wszystkim na etapie projektowania. Oto kilka podstawowych zasad, które można zastosować:

- ograniczać liczbę pomp,
- unikać wież chłodniczych z wymuszonym obiegiem powietrza,
- jeżeli wieża chłodnicza jest konieczna, należy wybierać mokre wieże w systemach odzysku (rekuperatorach),
- jeżeli natężenie przepływu rozrzedzające jest wystarczające, należy zainstalować turbinę hydrauliczną na wylocie,
- jeżeli natężenia przepływu mogą być zmienne należy użyć przetwornic częstotliwości na pompach i wentylatorach.

Na podstawie obserwacji można wyciągnąć następujące wnioski:

- dwa zestawy pomp są wystarczające, jeden dla zasilania pomocniczych systemów chłodzących, drugi dla głównego systemu chłodzącego,
- jeżeli chłodzenie jednoprzepływowe nie jest możliwe, należy stosować wieże chłodnicze mokre z naturalnym obiegiem powietrza,
- można więc wyobrazić sobie dwa schematy (rysunek XII.13 i XII.14 w części XII.11), które umożliwią wyeliminowanie ciepła z systemów pomocniczych poprzez wieże chłodnicze.

### 17.8.2 Projektowanie i sposoby ograniczania hałasu

Ograniczenie hałasu systemów chłodzenia można osiągnąć w następujący sposób:

- stosowanie ścian wygłuszających wokół wież chłodniczych,
- modyfikacja rzeźby terenu (zadrzewione zbocza),
- stosowanie wentylatorów o niskim poziomie hałasu
- stosowanie paneli wygłuszających.

Dzięki tym rozwiązaniom możliwe jest spełnienie surowych norm hałasu.

### 17.8.3 Wdrażanie metod fizycznych

Na poziomie projektowania niezbędne jest rozważenie możliwości wdrażania metod fizycznych, w szczególności dla uniknięcia rozwoju życia biologicznego. Dotyczy to w szczególności:

- gwarantowania właściwych prędkości w każdej części systemu,
- instalacji systemów ciągłego oczyszczania na wszystkich wymiennikach ciepła,
- montażu filtrów biologicznych (przeciw małżom),
- projektowanie systemu umożliwiającego prowadzenie czyszczenia ręcznego podczas pracy systemu (wykorzystanie zamiennych wymienników ciepła),
- projektowania systemu umożliwiającego wzrost temperatury (recyrkulacja poprzez by-pass),
- w mokrych wieżach z naturalnym obiegiem powietrza należy stosować wypełnienie z wystarczającą powierzchnią i/lub strukturą redukującą zanieczyszczenia; okresowe czyszczenie powinno być opcjonalne np. w przypadku wysokiej zawartości osadów w wodzie chłodzącej.

### 17.8.4 Modelowanie i projekty pilotażowe

Celem **modelowania** jest analiza wszelkich wpływów fizykochemicznych i takie dostosowanie instalacji, aby w największym możliwym stopniu zminimalizować jej oddziaływanie. Szczególnie ważne jest dokonanie analizy:

- poboru i zrzutu wody,
- aspektów wizualnych lokalizacji,
- rozwoju chmury oparów wody,
- termicznego i chemicznego wpływu na środowisko.

Zadaniem prób pilotażowych jest optymalizacja uzdatniania wody chłodzącej w celu uniknięcia osadów i rozwoju biologicznego. Aby to osiągnąć, buduje się na okres około roku pilotażowe instalacje oddające rzeczywiste warunki pracy w docelowej lokalizacji. Wspomniane projekty pilotażowe powinny trwać tak długo, aby możliwe było zaobserwowanie różnic jakości wody w różnych porach roku (w zmiennych warunkach klimatycznych). Umożliwiają one wybór właściwych rozwiązań systemu (np. wybór wypełnienia wieży, właściwych materiałów, itp.)

### 17.8.5 Wybór systemu chłodniczego

Jak można stwierdzić na podstawie poprzednich analiz, wybór systemu chłodzenia zależy w dużym stopniu od lokalizacji. Podanie jednego konkretnego rozwiązania może okazać się niewłaściwe. Diagram wyboru (rysunek XII.15, część XII.11) przedstawia wszystkie możliwe rozwiązania.

Z energetycznego punktu widzenia systemy wodne (jednoprzepływowe chłodzenie wraz z, jeżeli to konieczne, mokrą wieżą chłodniczą) są znacznie bardziej ekonomicznym rozwiązaniem w połączeniu z korzyściami ekologicznymi takimi jak oszczędność energii i ograniczenie emisji gazów spalinowych. Niezależnie od tego, czy użyte zostaną systemy jednoprzepływowe czy też

systemy zamknięte w natryskowymi wieżami chłodniczymi, bilans energetyczny systemu wodnego jest korzystny dla tego rozwiązania.

Wodne systemy chłodzenia mogą być brane pod uwagę tylko wtedy, gdy cieki wodne mogą być do nich przystosowane. W zakresie zarządzania zasobami wodnymi ten punkt należy dokładnie przeanalizować, w szczególności biorąc pod uwagę dalsze rozwiązania. Długoterminowe modelowanie oraz zbieranie danych statystycznych jest niezbędnym narzędziem do oceny wpływu na środowisko. Podstawą tego podejścia jest konieczność wyboru systemu chłodzenia, współczynnika zagęszczenia i metody uzdatniania.

## 17.9 Wnioski

Podejście BAT do systemów chłodzenia w **nowych** elektrowniach wymaga skupienia się na kilku punktach:

1. Potrzeba wykonania badań zawierających ocenę warunków lokalizacji;
2. Wybór materiałów odpornych na korozję dla wymienników ciepła, skraplaczy i wież chłodniczych;
3. Wdrożenie zabezpieczeń miejscowych (malowanie, ochrona katodowa, itp.);
4. Ograniczenie odbiorników energii (pompy, wentylatory);
5. Instalacja systemów wygłuszających (ściany, panele, modyfikacja rzeźby terenu lokalizacji, itp.) lub wybór rozwiązań o niskiej emisji hałasu (wentylatory o niskiej głośności);
6. Optymalizacja składników uzdatniania, przygotowanie systemów monitoringu i sterowania;
7. Przygotowanie systemu w ten sposób, aby był odporny na wzrost temperatury;
8. Projektowanie ujęć wody w taki sposób, aby ograniczyć zasysanie żywych organizmów;
9. Kontrola jakości wody odprowadzanej do ścieków (temperatura, natlenienie, itp.).

Punkty 3, 4, 5, 6 i 9 dotyczą także **istniejących** elektrowni, jak również zawierają sugestie odpowiedniego użytkowania i konserwacji. Inne punkty nawiązują do oceny lokalizacji, która dla istniejącej elektrowni jest już faktem. Mając na uwadze wszystkie punkty, ocena istniejącej instalacji może prowadzić do wprowadzenia znacznych zmian i przeprojektowania systemu chłodzącego. Zmiany te mogą być drogie i prawdopodobnie mogą się nie zwrócić. W takich sytuacjach okres spadku wartości instalacji (wymenniki ciepła, urządzenia ujęcia wody) może prowadzić do zmian oceny lokalizacji.

Na podstawie doświadczenia żadne pojedyncze rozwiązanie nie wydaje się najlepsze. Każdy przypadek jest szczególny i zależy, na przykład, od obiegu termodynamicznego elektrowni. W przypadku układów z recyrkulacją, wybór systemu uzdatniania zależy od współczynnika zateżenia, maksymalnej temperatury i jakości pobieranej wody. To samo dotyczy zwalczania rozwoju życia biologicznego. Chociaż makroorganizmy mogą być eliminowane poprzez szok termiczny, to takie rozwiązanie nie może być zastosowane dla eliminacji biofilmu.



## 17.10 Literatura

- B. Vincent, "Exploitation et maintenance de la source froide", Revue Générale Nucléaire, n° 3, 247-257, mai/juin 1986.
- R. Gras et J. Jacquet "Problèmes d'environnement liés à la source froide des centrales thermiques", École d'Été de mécanique des fluides, 353-393, 6-10 octobre 1975.
- H.A. Jenner, C.J.L. Taylor, M. Van Donk, M. Khalanski, "Chlorination By-products in Chlorinated Cooling Water of some European Coastal Power Stations", Marine Environmental Research, tom 43, n°4, str. 279-283, 1997.
- R. Ambrogi, "Environmental Impact of Biocidal anti-fouling Treatment by Chlorine Dioxide". Protokół z First European Symposium on Chlorine Dioxide [Pierwszego Europejskiego Sympozjum nt. Dwutlenku Chloru]. Collana ambiente, tom 17, str. 119-132, Rzym, 1996.
- L. Duvivier, "Étude des divers procédés de lutte contre l'entartrage des circuits de réfrigération des centrales électriques", Travail de Fin d'études, Université Catholique de Louvain, Facultés des Sciences Appliquées, juin 1988.
- G. Gutner, "Aéroréfrigérants secs et mixtes", École d'Été de mécanique des fluides, 60-69, 6-10 October 1975.
- Protokół: Cooling Tower and Advanced Cooling Systems Conference [Konferencja nt. Wież Chłodniczych i Zaawansowanych Systemów Chłodzenia], EPRI TR-104867, luty 1995.
- L. Duvivier, "Concentration et conditionnement des eaux de surface intérieures dans les circuits de refroidissement atmosphériques des grandes centrales thermiques", 36<sup>èmes</sup> Journées internationales du CEBEDEAU, 205-234, Liege, 25-27 mai 1983.
- Deleval, Duvivier, Hosdain, "Lutte contre l'entartrage des circuits de réfrigération des centrales électriques", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium [IX Sympozjum nt. Wież Chłodniczych i Basenów Natryskowych] - International Association for Hydraulic Research [Międzynarodowe Stowarzyszenie Badań Hydraulicznych], Institut von Karman, 20-23 septembre 1994.
- L. Duvivier, "Considérations générales relatives à l'entartrage des circuits de réfrigération industriels", Protokół : Journées Information Eaux, tom 1, 311-3111, 18-20 septembre 1996.
- H.A. Jenner, J.P.M. Mommen, "Driehoeksmosselen en aangroei problemen", H<sub>2</sub>O, 18<sup>de</sup> jaargang, nr 1, str. 2-6, 1985
- Guide de l'environnement non radioactif - Protocole de chloration massive des réfrigérants, EDF-SPT, Département Sécurité - Radioprotection - Environnement, juillet 1984.

- 
- Aprosi, Bidard, Nepveu de Villemarceau, "Expérience d'exploitation des réfrigérants des centrales françaises: hydrobiologie - chimie aquatique", Revue Generale Nucléaire, n° 5, 425-429, septembre/octobre 1986.
  - Rook, "Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Waters", Water Treatment and Examination, 23 (część 2), 234, 1974.
  - Bellar, Lichtenberg, Kroner, "The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters", JAWWA, 66, 73, grudzień 1974.
  - Amy et al., "Evaluation of THM Precursor Contributions from Agricultural Drains", JAWWA, 57-64, styczeń 1990.
  - G. Asplund, A. Grimvall, "Organohalogens in Nature - More widespread than previously assumed", Environmental Science and Technology, 25, str. 1346-13450, 1991.
  - L. Duvivier, "Formation et élimination des organo-halogénés lors de la désinfection des eaux", Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées, Université Catholique de Louvain, juin 1993.
  - C.T. Jafvert, R.L. Valentine, "Reaction Scheme for the Chlorination of Ammoniacal Water", Environ. Sci. Technol., tom 26, nr 3, 1992.
  - Bilello, Singley, "Removing Trihalomethanes by Packed Column and Diffused Aeration", JAWWA, 62-71, luty 1986.
  - Munz, Roberts, "Air-Water Phase Equilibria of Volatile Organic Solutes", JAWWA, 62-69, maj 1987.
  - Isaac, Morris, "Rates of Transfer of Active Chlorine between Nitrogenous Substances", Water Chlorination - Environ. Impact and Health Effects, Vol. 3, 1980.
  - Weil, Morris, "Kinetics Studies on the Chloramines. The Rates of Formation of Monochloramine, N-chloromethylamine and N-chlorodimethylamine", Jour. Am. Chem. Soc., tom 71, 1979.
  - 4 S.A. Hubbs et al., "Use of Chlorine Dioxide and Chloramines as alternate Disinfectants at Louisville", Protokół z AWWA Seminar, AWWA Conference [Seminarium AWWA, Konferencji AWWA], str. 51-60, Atlanta, 15 czerwca 1980.
  - Neden et al., "Comparing Chlorination and Chloramination for Controlling Bacterial Regrowth", JAWWA, 80-88, lipiec 1992.
  - "Centrale de CHOOZ B1 B2-Examen des Salissures biologiques- Rapport de synthèse", Rapport LABORELEC CO3-800-95-005F/LDU/RVM, 22/03/05.
  - "CHOOZ B - Essais sur poste pilote. Conditionnement des eaux de réfrigération", Rapport LABORELEC CO3/06578 - 1, 15/01/1991.

- 
- "Eaux de réfrigération: Centrale de Seraing-Résultats des essais en station pilote", Rapport Laborelec SER/ER/LD-CO3, 04/11/92.
  - "Eaux de réfrigération: Centrale de Drogenbos-Résultats des essais en station pilote", Rapport Laborelec DROG/ER/LD-CO3, novembre 91.
  - L.C. Neale, "Cooling Problems of Thermal Power Plants - Physical Model Studies", École d'Été de mécanique des fluides, 159-180, 6-10 October 1975.
  - J.P. Benque, "Modèles mathématiques des rejets thermiques", École d'Été de mécanique des fluides, 184-200, 6-10 octobre 1975.
  - J. Smits, "Pégase-Planification et gestion de l'assainissement des eaux", Ministère de la Région Wallonne, Rapport de Synthèse, 1991.
  - Ernst, Winkler, "Flow Patterns of Cooling Tower Plumes in the near atmosphere Results from a mathematical model", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium [IX Sympozjum nt. Wież Chłodniczych i Basenów Natryskowych] - International Association for Hydraulic Research [Międzynarodowe Stowarzyszenie Badań Hydraulicznych], Institut von Karman, 20-23 września 1994.
  - „Cycle Chemistry Guidelines for Fossil Plants: All Volatile Treatment”, EPRI, TR-105041, kwiecień 1996.
  - Mortensen, Conley, "Film Fill Fouling in Counterflow Cooling Towers: Mechanism and Design", Cooling Tower Institute [Instytut Wież Chłodniczych], Referat TP94-05, Houston, 13-16 lutego, 1994.
  - Montjoie, Noble, Mirsky, "Research of Fouling Film", Cooling Tower Institute [Instytut Wież Chłodniczych], Nowy Orlean, 17-19 lutego, 1993.
  - Duvivier, van Damme, Bolsée, "Le choix des corps d'échange des tours de réfrigération et leur influence sur les phénomènes d'entartrage par le carbonate de calcium", Protokół Journées Information Eaux, tom 1, 371-3711, 18-10 septembre 1996.
  - Dedieu, "Etude expérimentale de l'entartrage des corps d'échange de réfrigérants industriels", Thèse de doctorat INSA Toulouse, 05/06/97.
  - J.P. Fesson, "Le primage et la séparation dans les réfrigérants", École d'Été de mécanique des fluides, 202-215, 6-10 octobre 1975.
  - G. Ribier, "Optimisation dans le calcul thermique et la détermination d'un réfrigérant atmosphérique à tirage naturel"; École d'Été de mécanique des fluides, 217-229, 6-10 octobre 1975.
  - Manoha, Lepeintre, Pechon, "Le Modèle TELEMAC-3D pour les écoulements tridimensionnels: de nouvelles perspectives pour les études d'environnement", Hydroécologie Appliquée, Tome 4, Vol. 1, 13-20, 1992.

- Nagel, "New Developments in Air-Cooled Steam Condensers and Dry cooling Towers", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium [IX Sympozjum nt. Wież Chłodniczych i Basenów Natryskowych] - International Association for Hydraulic Research [Międzynarodowe Stowarzyszenie Badań Hydraulicznych], Institut von Karman, 20-23 września 1994.
- van der Spek, "Advanced Low Noise Cooling Fan", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium [IX Sympozjum nt. Wież Chłodniczych i Basenów Natryskowych] - International Association for Hydraulic Research [Międzynarodowe Stowarzyszenie Badań Hydraulicznych], Institut von Karman, 20-23 września 1994.
- Kosten, Wyndrum, Wet, Dry and Hybrid Systems - A Comparison of the Thermal Performance", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems [Konferencja nt. Wież Chłodniczych i Zaawansowanych Systemów Chłodzenia], St Petersburg, 3 sierpnia, 1994.
- Burns, Nicholson, Annett, Alexander, "The Impacts of Retrofitting Cooling Towers at a Large Power Station", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems [Konferencja nt. Wież Chłodniczych i Zaawansowanych Systemów Chłodzenia], St Petersburg, 3 sierpnia, 1994.
- Lindahl, Jameson, "Plume Abatement and Water Conservation with the Wet/Dry cooling Tower", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems [Konferencja nt. Wież Chłodniczych i Zaawansowanych Systemów Chłodzenia], St Petersburg, 3 sierpnia, 1994.
- Gill et al. "A Mechanistic Approach to the Development of Chemical Solutions for Fouling of Cooling Tower Film Fills", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems [Konferencja nt. Wież Chłodniczych i Zaawansowanych Systemów Chłodzenia], St Petersburg, 3 sierpnia, 1994.
- J.F. Commaille, "Perturbations apportées par le rejet de produits tartrifuges dans les rivières sur les traitements physico-chimiques ultérieurs de ces eaux", Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 25 octobre 1982.
- L. Duvivier, "Elimination des tartrifuges avant rejet. Conséquences industrielles", Tribune du Cebedeau, n° 487-488, 37, 247-252, 1984.
- "Zebra Mussel Monitoring and Control Guide", EPRI TR-101782, grudzień 1992.
- Leyen et al., "Mitigation of Macrofouling: A Comparative Study of Ozone and on Organic Filminducing Polymer", 7th International Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference [VII Międzynarodowa Konferencja nt. Racicznicy oraz Wodnych Gatunków Uciążliwych], Nowy Orlean, 28-31 stycznia, 1997.
- Duvivier et al., "Do we need Chlorine for Water Treatment?", Protokół: Power-Gen '96 Europe, tom 1, 757-770, czerwiec 96.

- 
- Duvivier et al., "Fighting Zebra Mussel Fouling with Ozone", EPRI-Service Water System Reliability Improvement Seminar [Seminarium nt. Poprawy Niezawodności Systemów Obsługi Wody EPRI], Daytona Beach, 25-27 czerwca, 1996.
  - K. D'Hondt, "On-line Analyse van de "Kritische pH", Applitek, Vergadering Scheikunde, Laborelec, 28/04/93.
  - Lin et al., "Surveillance de la menace d'entartrage du circuit de refroidissement d'une centrale nucléaire par un capteur électrochimique automatique", Protokół : Journées Information Eaux, Vol. 1, 331-3316, 18-20 septembre 1996.
  - G.J. Licina, "Monitoring Corrosion and Biofilm Formation in the Emergency Service Water System at Susquehanna", EPRI-Service Water System Reliability Improvement Seminar [Seminarium nt. Poprawy Niezawodności Systemów Obsługi Wody EPRI], Daytona Beach, 25-27 czerwca, 1996.
  - L. Caudron, "Les réfrigérants atmosphériques industriels", Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, 1991.
  - Y. Coeffe, P-M. Clique, B. Manoha, "Thermal Impact Studies for French Coastal Nuclear Sites", 18th ICCE. Cape town, str. 2342-2356, 1982.
  - M. Darras, J. Montfort, J.F. Parent, "Ouvrages de prise et de rejet d'eau, conception et réalisation. A. The Dilution of Heated Discharges of Power Plants. B. Seashore Power Stations and Protection of the Marine Environment", Rapport EDF DER HE/ 42/85.18, 1985.
  - F. Bordet, "Conception des ouvrages d'eau des centrales nucléaires littorales", Rapport EDF DE E-3011, 1983.
  - B. Manoha, "Three-dimensional numeric Modelling of Thermal impact for Gravelines Nuclear Power Plant", 23rd IAHR Congres. Ottawa, 1989.
  - A. Gilbert, R. Gras, D. Roult, "Numeric Computation of Natural River Temperatures", International Conference on Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment [Międzynarodowa Konferencja nt. Wpływu na Jakość Wody w Naturalnych Środowiskach Lądowych]. Bornemouth England, referat M1, str. 457-472, 10-13 czerwca 1986.
  - A.W.H. Tumpenny, T.E. Langford, R.J. Aston, "Power Stations and Fish", Badanie CEGB, str. 27-39, April 1985.
  - F. Travade, "Aspiration d'organismes aux prises d'eau des centrales", Revue générale nucléaire, n°1, str. 59-62, 1987.
  - EDF International, "Cordemais Coal-Fired Power Station. Units 4 and 5. Environmental Impact Study", 1987.

- 
- J.W. Whitehouse, M. Khalanski, M. Saroglia, "Marine Macrofouling Control Experience in the UK with an overview of European Practices", Protokół z Symposium on Condenser Macrofouling Control Technologies [Symposium nt. Technologii Kontroli Makrozanieczyszczeń Kondensatorów], Hyannis, Mass. Raport EPRI CS 3343, str. 17.1-17.16, grudzień, 1983.
- J.W. Whitehouse, M. Khalanski, M. Saroglia, H.A. Jenner, "The Control of Biofouling in Marine and Estuarine Power Stations", Wspólny Raport CEGB, EDF, ENEL and KEMA, 48 str., 1985.
- M. Khalanski, G. Aprosi, F. Travade, "Biofouling Control in Power Station Circuits. Overview of Electricité de France's experience", Condenser Biofouling Control Symposium [Symposium nt. Kontroli Biozanieczyszczeń Kondensatora]; "Aktualny stan wiedzy", Spotkanie EPRI, Lake Buena Vista, Florida, 1985.
- M. Khalanski et Ph. Lutz, "La chloration de l'eau de réfrigération", Revue Générale Nucléaire, n°1, str. 52-58, 1987.
- NCASI, "Naturally occurring Organohalogen Compounds - A Survey", Technical Bulletin, n°629, 1992.
- H. Palm, R. Lammi, "Fate of Pulp Mill Organochlorines in the Gulf of Bothnia Sediments", Environmental Science and Technology, 29, str. 1722-1727, 1995.
- H. Kankaanpää, J. Tossari, "Background Levels of EOX and AOX in Sediments of the Gulf of Finland. Molecular Weight Distribution of EOX in Sediments", Chemosphere, 28, str. 99-116, 1994.
- 3 G. Asplund, "The Origin of Organohalogen Compounds found in the Environment", Linköping Studies in Arts and Science, n° 77, Uniwersytet Linköping, Szwecja, 1992.
- Ph. Gosse, M. Khalanski, "La modelisation numerique appliquee a l'évaluation d'impact hydrobiologique", Revue Generale Nucleaire, n° 1, str. 46-51, 1987.
- M.J. Saleçon, J.M. Thébault, "Modélisation d'écosystème lacustre" Masson, ISBN 2-225-85627-3, 1997.
- G. Aprosi, C. Nepveu de Villemarceau, "French operational Experience of fouling Problems (Algae, Bryozoa) in cooling Towers", 6th IAHR Cooling Tower Workshop VI Warsztaty IAHR nt. Wież Chłodzących], Pisa, 4-7 października, 1988.
- J.C. Moretteau, M. Khalanski, "Settling and Growth of *D. polymorpha* in raw Water Circuits of the Cattenom Nuclear Power Plant (Moselle, France)", Protokół: Fourth International Mussel Conference [Czwarta Międzynarodowa Konferencja nt. Omułków], Madison, Raport EPRI, marzec 1994.



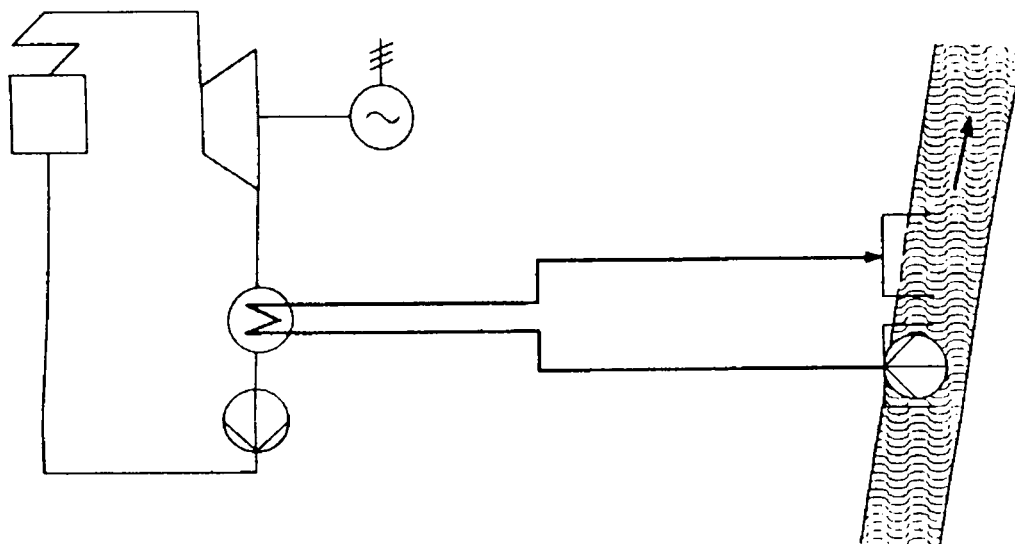
- M. Khalanski; "Zebra Mussel and other invasive Species in cooling Water Circuits of French Power Stations on Rivers", Seventh International Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference [VII Międzynarodowa Konferencja nt. Racicznicy oraz Wodnych Gatunków Uciążliwych], Nowy Orlean, 28-31 stycznia 1997.
- H.A. Jenner, J. Whitehouse, C. Taylor, M. Khalanski, "Cooling Water Management in European Power Stations", zostanie opublikowane w Hydroécologie Appliquée.
- B. Comby, "Un écologiste pour le nucléaire", La compagnie du livre, ISBN 2-84155-035-4, 1994.
- VGB-Richtlinie für die Planung von Kühlturmanlagen, R 135 P, 1997.
- VGB-Richtlinie „Empfehlung für den Winterbetrieb von Kraftwerks-Naßkühltürmen“, R 129 P, 1988
- VGB-Richtlinie „Einsatz von Holz im Kühlturbau“, R 611 U, 1996
- DIN 1947: Wärmetechnische Abnahmemessungen an Naßkühltürmen.
- VGB-Richtlinie: "BTR Bautechnik bei Kühltürmen", R 610 U, 1997.
- VGB-"Kühlwasser-Richtlinie", R 455 P, 1990.
- VGB-Merkblatt "Aufbereitung von Betriebswasser und Kühlturm-Zusatzwasser durch Entcarbonisierung bzw. Flockung und Entcarbonisierung", M 403 G, 1992.
- VGB-Fachbuch: Bautechnik in Wärmekraftwerken, B 009, 1993.
- Tesche, W.; Planerische Berücksichtigung von Rezirkulation bei Zellenkühltürmen in Reihenanzordnung. VGB-TB 110, VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen (1996).
- VDI-Wärmeatlas: Berechnung von Rückkühlwerken.
- Held: Kühlwasser-Verfahrenstechnik und chemische Methoden für die Kühlwasserbehandlung in Industrie und Kraftwerken, Vulkan-Verlag, Essen (1994).
- DIN EN 45 531: Bestellrichtlinien Turbinenhilfseinrichtungen, Trockenkühlturm.
- DIN EN 45 532: Bestellrichtlinien Turbinenhilfseinrichtungen, Naßkühlturm.
- VDI 3734 B12: Emissionswerte technischer Schallquellen; Rückkühlanlagen; Kühltürme, 1990.
- Abwärme-Auswirkungen, Verminderung, Nutzen. Bericht 82-3 der Abwärmekommission 1982.
- Auswirkungen von Kühltürmen. Bericht 82-1 der Abwärmekommission, 1982.

-Ernst, Wurz: Naturzug-Naßkühlturm des Kernkraftwerks Philippsburg (Block 1). Untersuchungen des Betriebsverhaltens der Emissionen und der Schwadenausbreitung. Fortschritt-Bericht R. 15, Nr. 25 der VDI-Zeitschriften, 1983.

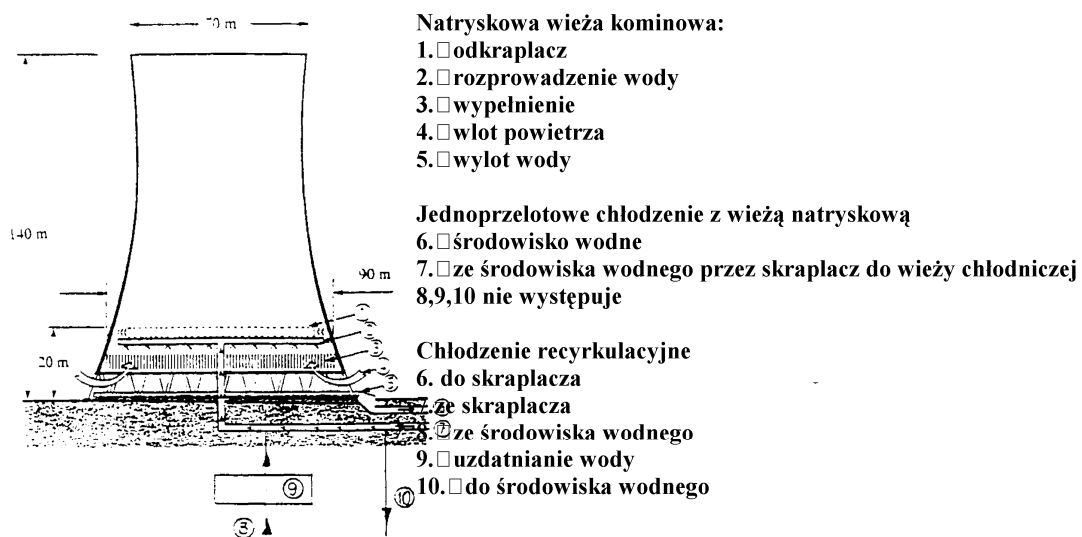
-Ernst Schnabel: Naturzug-Naßkühlturm des Kernkraftwerkes Philippsburg (Block 1). Ergebnisse der Schwadenausbreitungsrechnungen. Fortschritt-Berichte R. 15 Nr. 30 der VDI-Zeitschriften, 1984.

-Baer et al.: Thermodynamische Untersuchungen am Naturzug-Naßkühlturm des Kraftwerks Neurath und Modelle für das Betriebsverhalten und die Schwadenausbreitung, Fortschritt-Berichte R. 15 Nr. 7 der VDI-Zeitschriften.

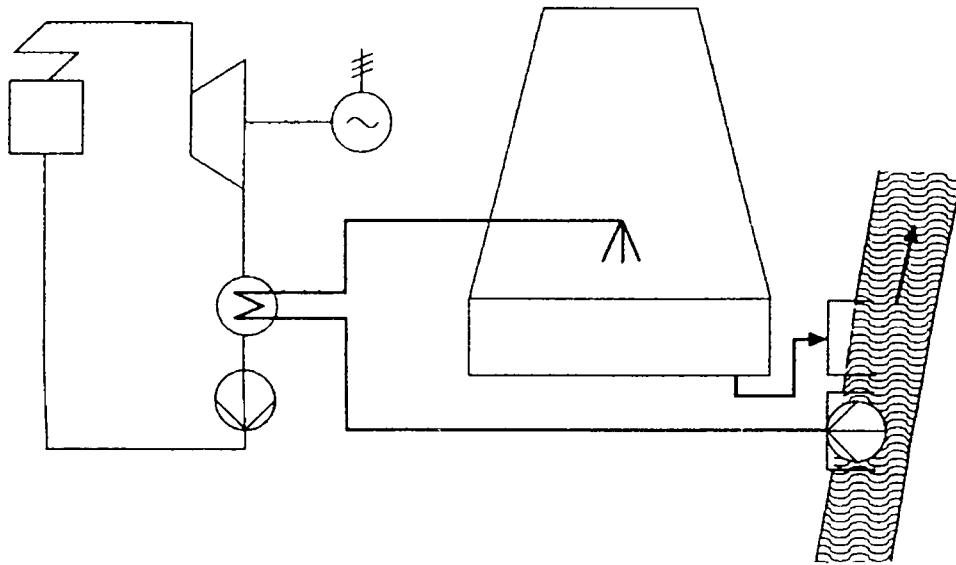
## 17.11 Ilustracje



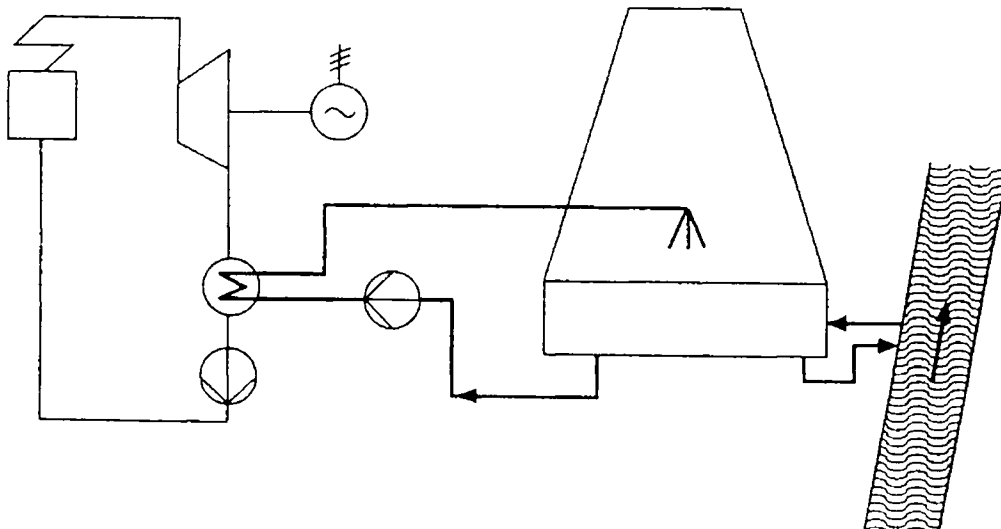
Rysunek XII. 1: System z jednorazowym przepływem



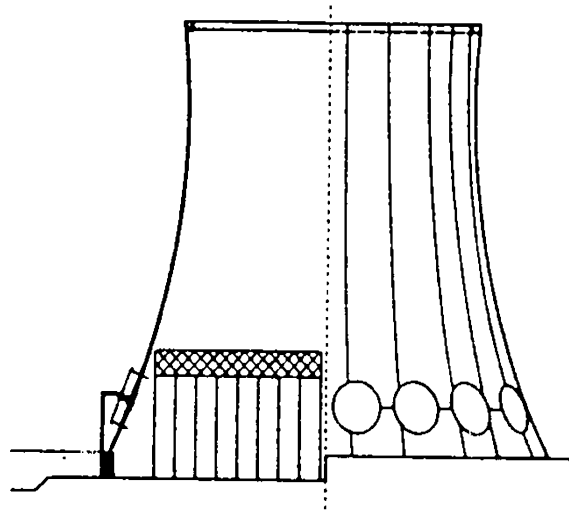
Rysunek XII. 2: Mokra wieża chłodnicza



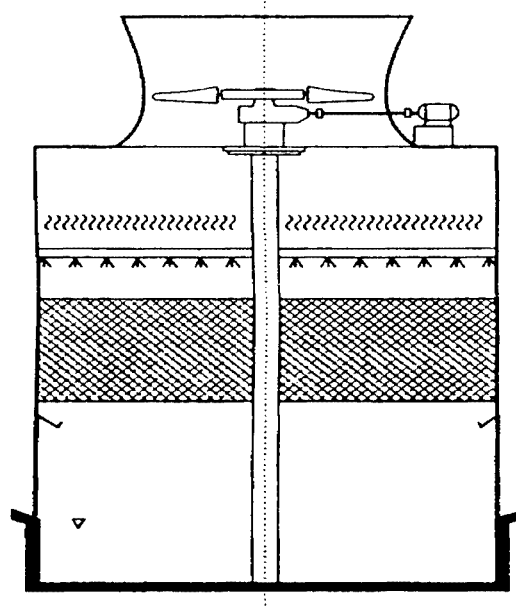
Rysunek XII. 3: Chłodzenie z jednorazowym przepływem z wieżą chłodniczą



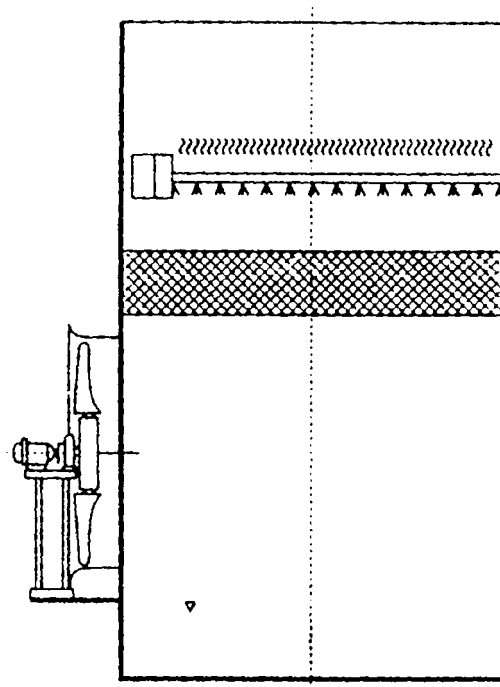
Rysunek XII. 4: Chłodzenie recyrkulacyjne



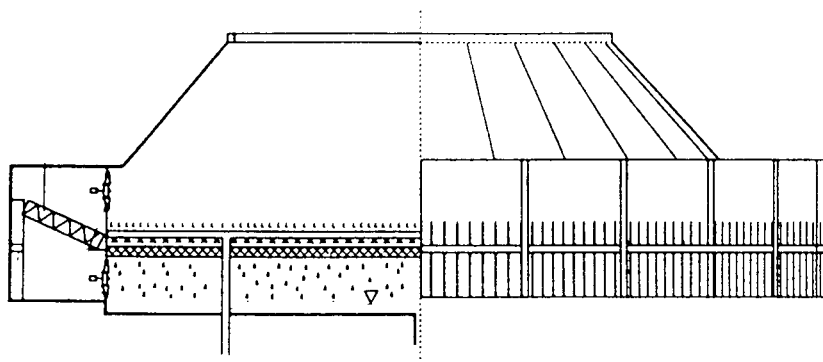
Rysunek XII. 5: Wieża chłodnicza z wymuszonym obiegiem powietrza (wentylatory tłoczące)



Rysunek XII. 6: Wieża chłodnicza z wymuszonym obiegiem powietrza (wentylatory ssące, konstrukcja modułowa)

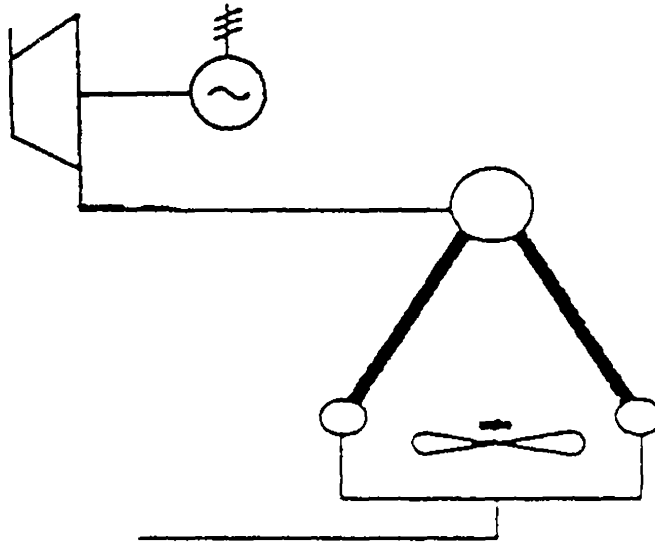


Rysunek XII. 7: Wieża chłodnicza z wymuszonym obiegiem powietrza (wentylatory tłoczące, konstrukcja modułowa)

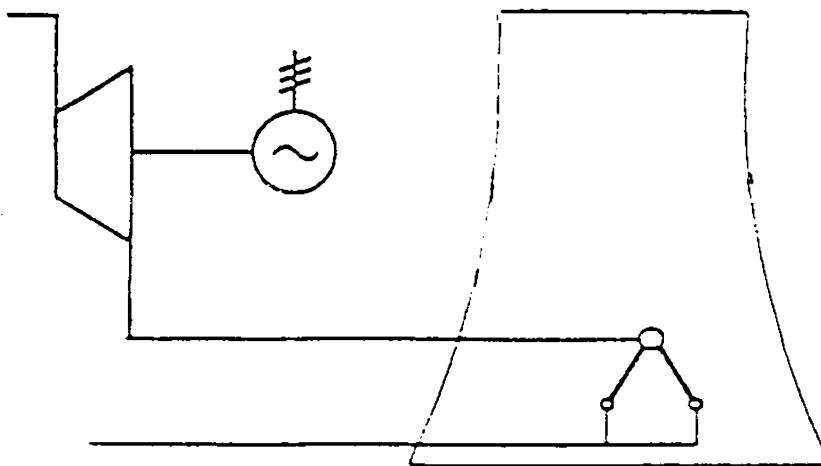


Rysunek XII. 8: Hybrydowa wieża chłodnicza

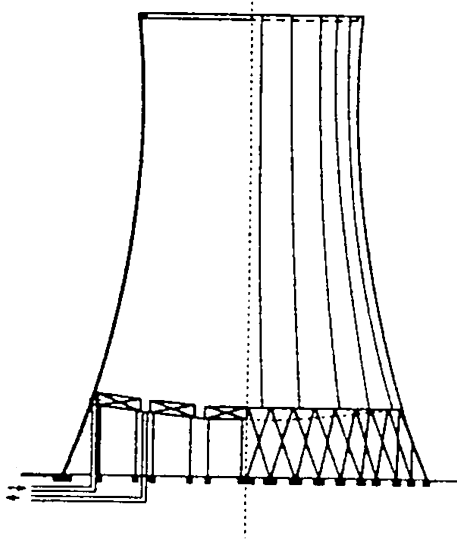




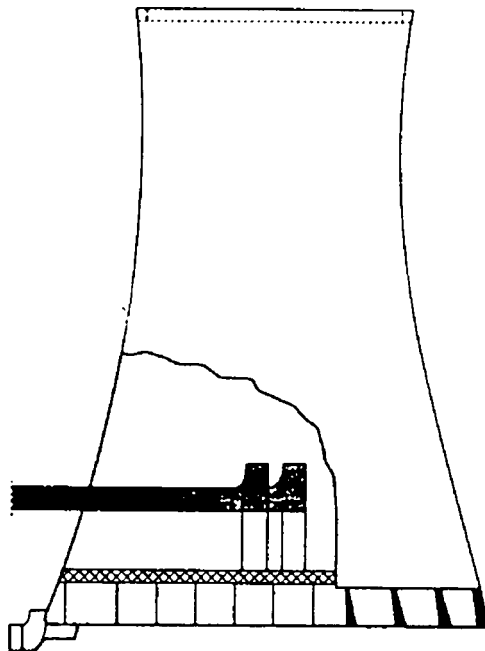
**Rysunek XII. 9:** Skraplacz chłodzony powietrzem z wymuszonym przepływem powietrza



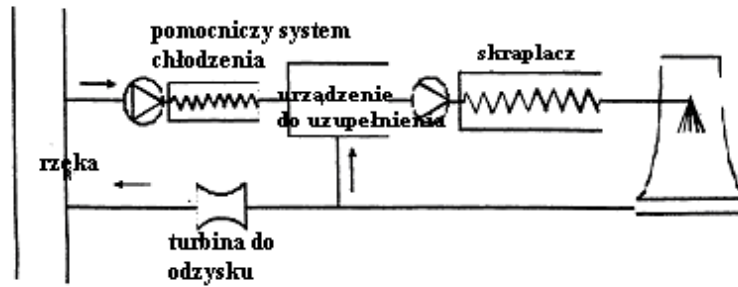
**Rysunek XII. 10:** Skraplacz chłodzony powietrzem z naturalnym przepływem powietrza



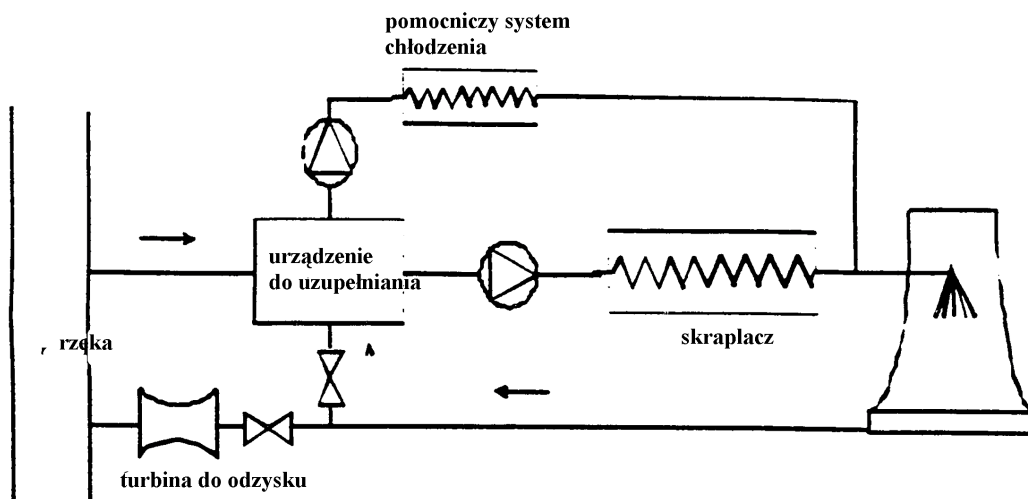
**Rysunek XII. 11: Chłodzenie powietrzem w obiegu zamkniętym z medium pośredniczącym**



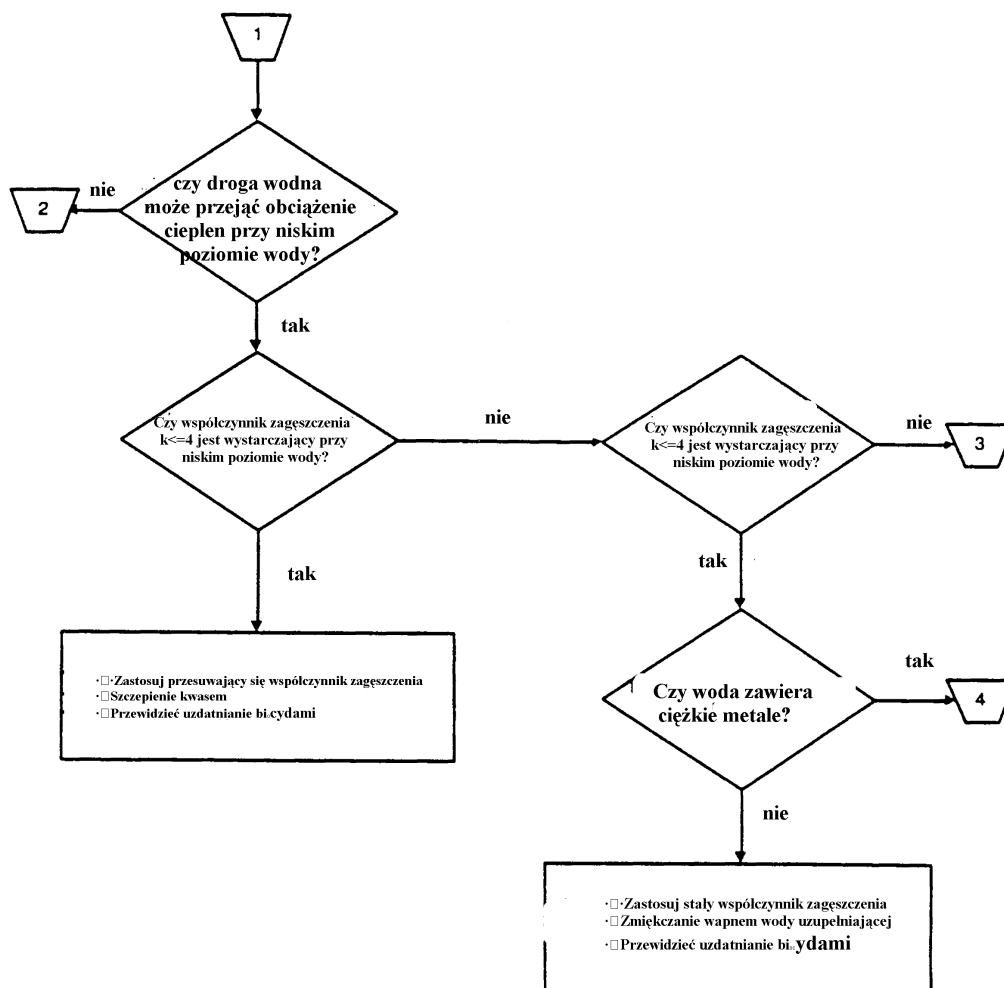
**Rysunek XII. 12: Wieża chłodnicza z wyrzutem oczyszczonych gazów spalinowych**



Rysunek XII. 13: System chłodzenia ze stałym współczynnikiem zagęszczenia



Rysunek XII. 14: System chłodzenia z przesuującym się współczynnikiem zagęszczenia



Rysunek XII. 15: Schemat decyzyjny dotyczący wyboru systemu chłodzenia