

Jakość wody w układach chłodzenia

Część 3

Poważnym problemem pojawiającym się w trakcie eksploatacji przemysłowych układów chłodzenia jest występowanie niekorzystnych procesów, prowadzących do pogorszenia efektywności wymiany ciepła, korozyjnego niszczenia elementów konstrukcyjnych instalacji, a także porostu mikrobiologicznego wewnątrz układu. Wymienione procesy związane są ze środowiskiem wodnym i mają swoje źródło w nieodpowiednim przygotowaniu wody, jako czynnika chłodniczego.

W części pierwszej artykułu skoncentrowano się na omówieniu współczesnych metod uzdatniania wody chłodzącej w otwartych układach chłodzenia z odparowaniem. W części drugiej przedstawiono praktyczne porady i zalecenia w zakresie przygotowania wody na cele chłodnicze. Niniejsza część omawia praktyczne aspekty kontroli i monitoringu jakości wód chłodniczych, z uwzględnieniem prostych w obsłudze testów i aparatury pomiarowej, umożliwiających samodzielny pomiar i interpretację istotnych parametrów wody chłodzącej, bezpośrednio na obiekcie.

1. Wstęp

Dla zapewnienia bezpiecznej i efektywnej eksploatacji układu chłodzenia, wymaganiami staje się obecnie ciągła kontrola jakości wody, związana z gromadzeniem i interpretacją danych uzyskanych z badań analitycznych wody obiegowej i uzupełniającej. Badania wody dostarczają m. in. podstawowych informacji, pomocnych w określaniu przyczyn różnorodnych problemów spotykanych w układach chłodzenia, jak np. korozji, powstawania osadów czy występowania zakwitów mikroflory. Szeroka dostępność narzędzi analitycznych, jak i urządzeń monitorujących, daje możliwość dopracowania właściwej i efektywnej technologii obróbki wody chłodzącej. Przy tym sama obsługa wielu z dzisiejszych zestawów analitycznych i urządzeń pomiarowych, jest na tyle prosta, że z powodzeniem może z nich korzystać osoba bez jakiegokolwiek wykształcenia chemicznego. W bardzo wielu przypadkach możliwe jest więc prowadzenie kontroli i monitoringu wody chłodzącej przez samego użytkownika instalacji, bez ponoszenia dodatkowych kosztów związanych ze zleceniem tego zadania firmie zewnętrznej. Nie oznacza to bynajmniej, że w każdej sytuacji użytkownik układu chłodzenia może poradzić sobie z kontrolą jakości wody chłodzą-

cej i interpretacją uzyskanych wyników samodzielnie. Generalnie można tu wyróżnić dwa przypadki, ze względu na cele prowadzonych analiz:

- a) w celu kontroli układu chłodzenia, w trakcie jego normalnej eksploatacji – tzw. monitoring operacyjny,
- b) w celu znalezienia przyczyny zaistniałego w układzie problemu (awarii),
- c) w celu opracowania najkorzystniejszej technologii uzdatniania wody.

Pierwszy przypadek ogranicza się zwykle do przeprowadzania stosownych pomiarów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody chłodzącej i bardzo często wystarczającą jest tu kontrola prowadzona przez samego użytkownika. W drugim i trzecim przypadku zakres prowadzonego monitoringu jest znacznie szerszy i oprócz standardowej analizy wody, mogą być również wymagane takie badania jak: analiza osadów (nieorganicznych, organicznych, biologicznych), analiza uszkodzeń korozyjnych, monitorowanie procesów korozyjnych (szybkość korozji), analiza metalograficzna, a nawet analiza jakościowa składu mikroflory (gatunki chorobotwórcze, jak np. *Legionella pneumophila*, *Naegleria fowleri*). Kontrola i monitoring układu chłodzenia w tym zakresie mogą być przeprowadzone jedynie przez specjalistyczną firmę zewnętrzną.

2. Kontrola i monitoring otwartych układów chłodzenia z recyrkulacją w trakcie ich normalnej eksploatacji. Możliwość samodzielnego prowadzenia pomiarów przez użytkownika

W trakcie normalnej eksploatacji otwartego układu chłodzenia w zakres wymaganych czynności kontrolnych wchodzi:

- a) kontrola zasolenia wody obiegowej i związanej z nim ilości cykli załączenia,
- b) kontrola stężenia dozowanych środków korekcyjnych (inhibitorów korozji, antyskalantów, biocydów),
- c) monitoring wybranych parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody obiegowej i uzupełniającej.

2.1. Kontrola zasolenia wody obiegowej i cykli załączenia

Przez zasolenie wody obiegowej rozumiemy stężenie wszystkich rozpuszczonych w niej soli wyrażone w mg/dm^3 . W warunkach stosunkowo niewielkiego zasolenia, spotykanych w układach chłodzenia, pomiędzy zasoleniem wody chłodzącej a jej przewodnictwem elektrycznym istnieje w przybliżeniu liniowa zależność (wraz ze wzrostem zasolenia rośnie przewodnictwo), dlatego często jako miarę zasolenia wody obiegowej przy-

muje się jej przewodnictwo, najczęściej wyrażane w $\mu\text{S/cm}$ lub mS/cm . Zasolenie wody obiegowej w układach z odparowaniem wzrasta w sposób ciągły, w wyniku ubytku wody przez odparowanie. Rozpuszczone sole nie odparowują wraz z wodą, w efekcie czego ich stężenie systematycznie rośnie. Wysokie zasolenie jest czynnikiem niepożądanym w układach chłodzenia i może powodować różnorodne problemy eksploatacyjne, począwszy od korozji elementów konstrukcyjnych po wytrącanie się dużych ilości osadów mineralnych. Aby tym zjawiskom przeciwdziałać konieczne jest utrzymywanie zasolenia na stałym, dopuszczalnym poziomie. W praktyce kontrola zasolenia wody obiegowej, sprowadza się do okresowego odsalania układu, tzn. zrzutu części zasolonej wody obiegowej, przy jednoczesnym uzupełnieniu układu wodą uzupełniającą o niskim zasoleniu. Najwygodniejszą i jednocześnie optymalną formą kontroli zasolenia jest automatyczny układ odsalający. W układzie tym elektroniczny miernik przewodnictwa steruje otwieraniem i zamykaniem elektrozaworu spustowego, na podstawie pomiarów z sondy konduktancji (przewodnictwa) zanurzonej w zbiorniku z wodą obiegową. Zwykle otwarcie zaworu następuje po przekroczeniu tzw. progowej wartości przewodnictwa. Wartość ta często jest podawana w normach dotyczących jakości wody obiegowej, opracowanych przez producentów urządzeń chłodniczych, takich jak skraplacze natryskowo-wyparne czy wieże chłodzące. Z reguły mieści się ona w zakresie pomiędzy 1600 a 2500 $\mu\text{S/cm}$. Poniżej wartości progowej elektrozawór pozostaje zamknięty.

Alternatywą dla odsalania automatycznego jest odsalanie ręczne. W tym wariantcie użytkownik sam dokonuje okresowych pomiarów przewodnictwa wody obiegowej i w

przypadku zmierzenia wartości przekraczającej zasolenie progowe, ręcznie otwiera zawór odsalający. Zrzut wody prowadzi się do uzyskania odczytu z miernika znacznie poniżej wartości progowej (przynajmniej 500 $\mu\text{S/cm}$ poniżej progę), co umożliwi wydłużenie czasu pomiędzy kolejnymi zrzutami. Jeszcze innym spotykanym sposobem odsalania jest sprzężenie elektrozaworu spustowego z elektronicznym kontrolerem czasowym. Kontroler uruchamia zasilanie elektryczne zaworu w ustalonych przedziałach czasowych, na ściśle określony czas (np. co godzinę na 5 minut). Dobór odpowiednich czasów najczęściej odbywa się metodą prób i błędów, na podstawie prowadzonych pomiarów przewodnictwa. Minusem tej metody jest konieczność korygowania czasów otwarcia zaworu, w zależności od pory roku. W sezonie letnim, w związku z wyższym odparowaniem wody z układu, zwykle wymagane jest wydłużenie czasu otwarcia zaworu, dla osiągnięcia założonego odsolenia wody obiegowej.

Istotną wartością w kontroli jakości wody obiegowej jest tzw. ilość cykli zateżania (N). Wyraża ona stosunek zasolenia wody obiegowej do wody uzupełniającej układ. Przykładowo, jeżeli woda obiegowa posiada zasolenie na poziomie 1000 mg/dm^3 , a układ jest uzupełniany wodą o zasoleniu 250 mg/dm^3 , to ilość cykli zateżania wynosi $N = \frac{1000}{250} = 4$.

Analogicznie można ilość cykli zateżania wyliczać z wartości przewodnictwa dla wody obiegowej i uzupełniającej. W układach, gdzie może dochodzić do wytrącania osadów z wody obiegowej, wyznaczanie cykli zateżania na podstawie zasolenia, czy przewodnictwa może być obciążone dużym błędem, ze względu na eliminowanie z wody obiegowej części soli w postaci osadu. W takim wy-

padku najlepiej jest obliczać cykle zateżania na podstawie pomiarów stężenia tych jonów, które nie tworzą nierozpuszczalnych soli. Bardzo dobrym wskaźnikiem jest w tym przypadku stężenie chlorków, które najdokładniej odzwierciedla wzrost zasolenia wody obiegowej względem wody uzupełniającej.

Użytkownik układu chłodzenia dysponując normami jakości dla wody obiegowej oraz znając odpowiednie parametry wody uzupełniającej, może metodą obliczeniową sam wyliczyć dopuszczalną ilość cykli zateżania. Przykładowo: użytkownik uzupełnia układ wodą o twardości całkowitej 100 $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$ (ok. 5,5 stopnia niemieckiego). Eksploatuje on skraplacz natryskowo-wyparny firmy Baltimore, dla którego maksymalna dopuszczalna twardość wody (według producenta) wynosi 500 $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$. Stąd maksymalna ilość cykli zateżania, jaką może on osiągnąć w układzie to $N = \frac{500}{100} = 5$. Podobnych

wyliczeń można dokonywać na podstawie innych parametrów wody obiegowej normowanych przez producentów urządzeń chłodniczych. Można w ten sposób określić tzw. parametr krytyczny, to znaczy taki, który najsilniej będzie ograniczał ilość cykli zateżania. Zilustrowano to na poniższym przykładzie.

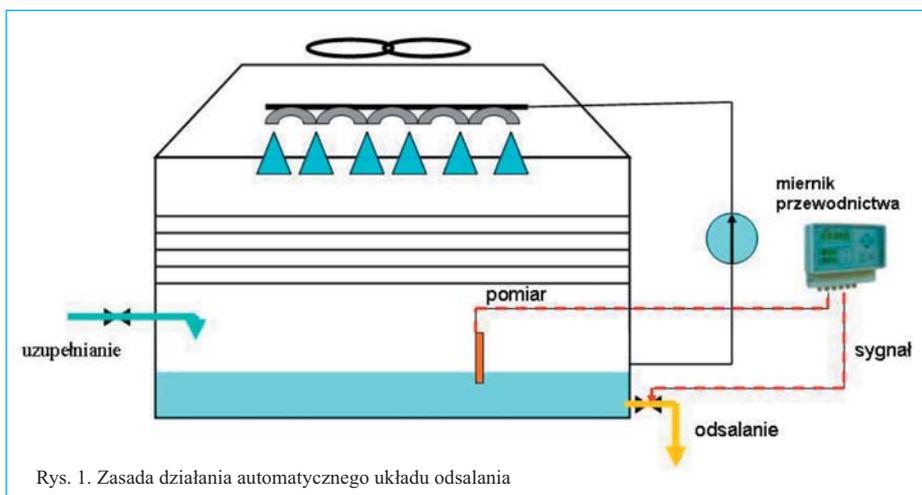
Użytkownik eksploatuje układ chłodzenia z wieżami wyparnymi o następujących parametrach wody uzupełniającej: zasolenie = 250 $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$, zasadowość $m = 200 \text{ mg CaCO}_3/\text{dm}^3$, twardość ogólna = 50 $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$.

Producent wież wyparnych określił w normie maksymalne dopuszczalne wartości wymienionych parametrów w wodzie obiegowej na: zasolenie = 2000 $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$, zasadowość $m = 1000 \text{ mg CaCO}_3/\text{dm}^3$, twardość ogólna = 500 $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$.

Wyliczone dopuszczalne cykle zateżania wyniosą odpowiednio:

- dla zasolenia $N = \frac{2000}{250} = 8$,
- dla zasadowości $m N = \frac{1000}{200} = 5$
- dla twardości ogólnej $N = \frac{500}{50} = 10$.

Parametrem krytycznym w tym przypadku jest więc zasadowość m , bowiem jej wartość w wodzie uzupełniającej limituje możliwy do uzyskania stopień zateżania do najniższej wartości równej 5.



Rys. 1. Zasada działania automatycznego układu odsalania

Jak widać, dysponując wynikami analizy wody uzupełniającej oraz odpowiednimi normami dotyczącymi wody obiegowej użytkownik jest w stanie samodzielnie określić wymagany próg odsalania, który w pewnych przypadkach może się okazać nawet niższy niż wartość zasolenia określona w normach.

2.2. Kontrola stężenia dozowanych środków korekcyjnych

Stężenia stosowanych w układzie chłodzenia środków korekcyjnych, powinno być kontrolowane i utrzymywane na stałym, właściwym poziomie. Duże fluktuacje wartości tych stężeń niekiedy mogą zniweczyć całkowicie efekt uzdatniania wody obiegowej. Generalnie przyjętą zasadą w dozowaniu środków korekcyjnych jest utrzymywanie ich stężenia tuż powyżej minimalnego stężenia efektywnego, tak, aby zapewnić wystarczający efekt działania, a przy tym utrzymać możliwie najniższe koszty uzdatniania chemicznego. Zwykle chemikalia dozuje się do wody obiegowej z użyciem membranowych pomp dozujących. Ich stężenie kontroluje się rozmaicie. O ile istnieje taka możliwość, optymalną metodą jest bezpośredni pomiar stężenia dozowanych substancji w wodzie i natychmiastowa reakcja na zmiany w ich stężeniu – zwiększenie lub zmniejszenie dawki. Często jednak metody bezpośredniego pomiaru stężenia są niedostępne lub koszty nabycia testów bądź urządzeń pomiarowych są bardzo wysokie. W takim wypadku stosuje się pośrednie metody kontroli stężenia:

- dozowanie sprzężone z odsalaniem – pompka dozująca sprzężona jest z zaworem odsalającym, każde otwarcie elektrozaworu na potrzeby odsalania automatycznie uruchamia dozowanie chemikaliów do wody uzupełniającej,
- dozowanie sterowane elektrycznie – impulsami z wodomierza – zapewnia podanie proporcjonalnej dawki chemikaliów w stosunku do ilości wody uzupełniającej wprowadzonej do układu chłodzenia,
- znakowanie dozowanych chemikaliów markerami fluorescencyjnymi – do dozowanych chemikaliów dodaje się określoną ilość substancji fluorescencyjnej, z pomiaru fluorescencji w próbce wody obiegowej określa się pośrednio stężenie dozowanych chemikaliów.

Użytkownik dobrze zorientowany w bilansie wodnym swojego układu chłodzenia w prosty sposób może obliczyć wymaganą

dawkę chemikaliów w oparciu o następujący wzór:

$$W_m = \frac{10^{-3} \times C_m \times 3M}{N}$$

gdzie: W_m – wymagana dawka chemikaliów na cele uzdatniania wody obiegowej [kg/h],

C_m – wymagane stężenie chemikaliów w wodzie obiegowej, najczęściej określane przez dostawcę chemikaliów [mg/l],

M – ilość wody uzupełniającej układ [m³/h],

N – liczba cykli zateżania.

Wymienione wyżej metody pośredniej kontroli dozowanych chemikaliów są obciążone mniejszym lub większym błędem, nie uwzględniają bowiem strat chemikaliów spowodowanych różnymi czynnikami, jak rozkład abiotyczny i biologiczny, neutralizacja, ubytki wraz z niekontrolowanymi wyciekami z instalacji, utlenienie przez biocydy utleniające i wiele innych. Dlatego optymalną metodą kontroli pozostaje zawsze pomiar bezpośredni, a jej najbardziej zaawansowaną formą automatyczne sprzężenie mierników pomiarowych z układami dozującymi, eliminujące do minimum udział czynnika ludzkiego. Jednak ze względu na koszty takich rozwiązań spotykane są one głównie w dużych układach chłodzenia (przemysł ciężki, energetyka jądrowa).

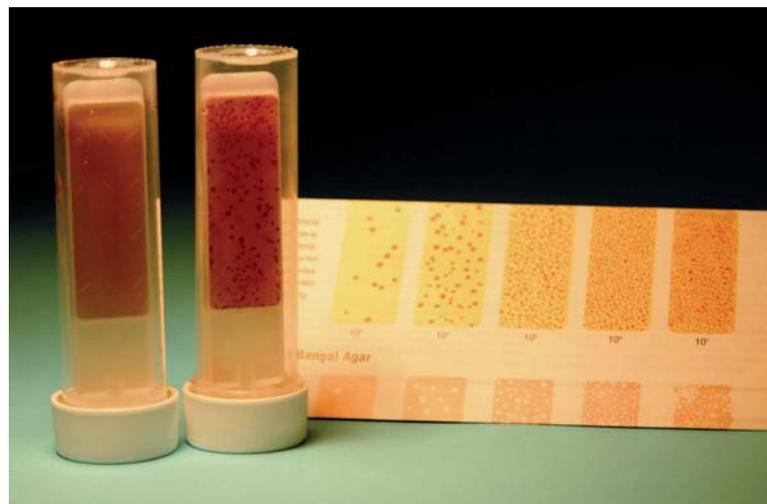
2.3. Przypadek szczególny – kontrola stężenia biocydów

Metody kontroli stężenia substancji biobójczych dozowanych do układu chłodzenia

zasadniczo odbiegają od metod stosowanych w przypadku innych komponentów chemicznych uzdatniania wody. Wynika to z faktu, że w przypadku biocydów główny przedmiot zainteresowania użytkownika stanowi nie tyle ich stężenie w wodzie, co ich efektywność biobójcza. Regulacja dawki dozowanych biocydów odbywać się więc będzie w oparciu o efekt dezynfekcyjny jaki daje ich zastosowanie. Jedynie w przypadku biocydów utleniających, takich jak chlor, brom, dwutlenek chloru i inne, dokonuje się bezpośrednich pomiarów tych związków w wodzie, w celu określenia tzw. stężeń resztkowych. Biocydy utleniające ulegają redukcji w reakcji z martwą i żywą materią organiczną. Obecność resztkowych ilości tych biocydów w wodzie obiegowej stanowi więc potwierdzenie zastosowania właściwej ich dawki.

W przypadku biocydów nieutleniających, bezpośrednie pomiary w wodzie obiegowej są rzadkością. Najczęściej kontroli ich dawkowania dokonuje się na podstawie wyników monitoringu mikrobiologicznego. Do najczęściej stosowanych metod należą tu:

- testy płytkowe na pożywkach agarowych – wykonywane są jedynie przez specjalistyczne laboratoria, na próbkach wody dostarczonych przez eksploatatora układu chłodzenia, czas oczekiwania na wynik testów, związany z inkubacją na pożywce, to minimum 48 godzin, wynik zwykle podawany jest w jednostkach cfu/ml (jednostki zdolne do tworzenia kontroli na ml),
- szybkie testy paskowe, tzw. „dip test” – są to bardzo łatwe w użyciu testy mikrobiologiczne przeznaczone do badań w te-



Fot. 1 Przykład testów mikrobiologicznych typu paskowego („dip test”) do określania poziomu skażenia wody chłodzącej. Po prawej – test inkubowany, gotowy do odczytu wyniku

renie, mogą być stosowane i inkubowane samodzielnie przez użytkownika układu chłodzenia, ponieważ nie wymagają specjalnej cieplarki do inkubacji, czas inkubacji to zwykle 24 do 48 godzin, często wyposażane są w dwa rodzaje pożywek różnicujących – na bakterie tlenowe i na grzyby/drożdże, dzięki czemu użytkownik może również zgrubnie jakościowo określić rodzaj mikroorganizmów odpowiedzialnych za skażenie, wynik testów podawany jest w jednostkach cfu/ml.

- testy oparte na pomiarze ATP (adenozynotrójfosforanu) – ATP jest podstawowym związkem energetycznym w świecie żywym, jego obecność świadczy o egzystowaniu w danym środowisku organizmów żywych, testy na ATP dają szybkie i ilościowe wyniki, jednak są drogie, kłopotliwe w użytkowaniu, a ich wyniki często trudne do zinterpretowania.

Oprócz monitorowania skażenia samej wody, istotne jest również jak biocyd oddziałuje na występujący w układzie biofilm. Praktycznie nie ma testów, które dawałyby możliwość bezpośredniej oceny ilościowej oddziaływania na biofilm. W tym celu stosuje się różne metody pomiaru pośredniego, jak np. specjalne kupony pokryte warstwą tamponu, które instaluje się w wybranych miejscach instalacji. Kupony takie podlegają porastaniu biofilmem. Po ich zdemontowaniu, zostają wysłane do laboratorium, gdzie zdejmuje się warstwę tamponu z biofilmem i z niej oznacza liczbę bakterii tradycyjną metodą płytkową.

Inna metoda wykorzystuje tuby testowe ze szkła lub plastiku, które zanurza się w basenie układu chłodzenia lub na boczniku instalacji i obserwuje zmiany w porastaniu biofilmem ich ścianek. W oznaczaniu biofilmu wykorzystuje się również pomiary mętności oraz pomiary elektrochemiczne (zmiany oporności elektrycznej na powierzchni metalu, związane z pokryciem osadem). Wadą obu tych metod jest niespecyficzność – zawiesiny i osady nieorganiczne również mają wpływ na pomiar.

W ostatnich latach, jako nowość pojawiła się metoda oznaczania zarówno stopnia skażenia mikrobiologicznego wody, jak i ilościowego określania biofilmu, znana jako tzw. metoda biosensorów. Polega ona w prowadzeniu do układu chłodzenia biologicznie aktywnych cząsteczek, podlegających przemianom metabolicznym w komórkach mikroorganizmów. Cząsteczki takie posiadają właściwości fluorescencyjne, przy określonej długości fali światła i mogą dzięki temu być ilościowo mierzone. Jednocześnie produkty ich przemiany w żywych komórkach posiadają również właściwości fluorescencyjne, przy innej, charakterystycznej długości światła. Mierząc odpowiednie stężenie zarówno biosensora, jak i produktu jego przemiany w żywych komórkach, uzyskujemy wiarygodne i ilościowe dane o aktywności mikrobiologicznej w systemie.

Możliwości prowadzenia przez użytkownika układu chłodzenia, samodzielnego monitoringu mikrobiologicznego wody chłodzącej, są ze względu na złożoność problemu ograniczone. Nie mniej w oparciu o szybkie testy paskowe (dip test) oraz prowadzone obserwacje (kontrola porastania biofilmem, obecność zakwitów oraz ich zmienność w zależności od pór roku), możliwe jest nie tylko określenie, w jakiej kondycji mikrobiologicznej znajduje się układ, ale również na ile skuteczny jest stosowany biocyd. Wyniki takich, prowadzonych we własnym zakresie analiz, mogą się okazać niezwykle pomocne dla dostawcy środków biobójczych, ułatwiając zarówno dobór biocydu, jak i jego optymalnej dawki.

2.4. **Monitoring istotnych parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody obiegowej i uzupełniającej**

Zakres kontroli wody przeznaczonej na cele chłodnicze zależy od wielu czynników. Podstawowy zakres badań obejmuje te parametry fizykochemiczne, których dopuszczalne wartości dla wody obiegowej zostały określone przez producenta/ów urządzeń eksploatowanych w układzie chłodzenia. Ten podstawowy zakres pomiarów często wymaga rozszerzenia w indywidualnych przypadkach, np.:

2.4. Monitoring istotnych parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody obiegowej i uzupełniającej

▪ w przypadku intensywnego porastania układu biofilmem, wskazane jest prowadzenie pomiarów ChZT w wodzie uzupełniającej i obiegowej, wysoka wartość indeksu ChZT dla wody uzupełniającej wskazuje, na dużą ilość materii organicznej, która stanowi pożywkę dla mikroorganizmów,

▪ w przypadku wytrącania z wody obiegowej osadów krzemianowych, należy mierzyć stężenie krzemionki i twardość magnezową w wodzie uzupełniającej i obiegowej,

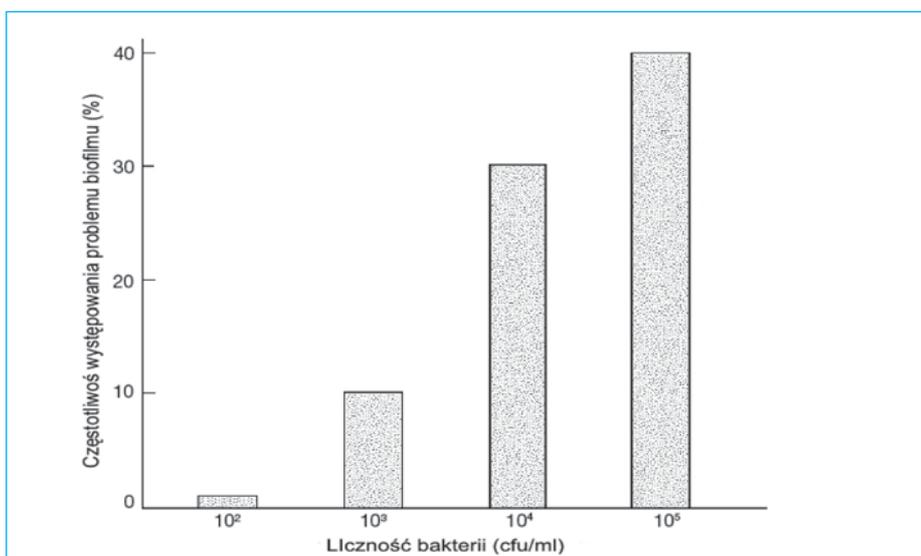
▪ w układach, w których istotnym elementem konstrukcyjnym jest miedź lub jej stopy, celowe jest prowadzenie pomiarów tego metalu w wodzie, dla określenia narażenia korozyjnego tych elementów.

Tabela 1 przedstawia najważniejsze parametry wody chłodzącej, podlegające kontroli, wraz z ich znaczeniem dla układu chłodzenia.

Obecnie szeroka dostępność na rynku prostych testów i urządzeń pomiarowych sprawia, że pomiar w/w parametrów jest dostępny dla każdego użytkownika układu chłodzenia. Wiele

Obecnie szeroka dostępność na rynku prostych testów i urządzeń pomiarowych sprawia, że pomiar w/w parametrów jest dostępny dla każdego użytkownika układu chłodzenia. Wiele

Obecnie szeroka dostępność na rynku prostych testów i urządzeń pomiarowych sprawia, że pomiar w/w parametrów jest dostępny dla każdego użytkownika układu chłodzenia. Wiele



Rys. 2 Zależność częstotliwości występowania zjawiska biofilmu od stopnia skażenia mikrobiologicznego wody

Najważniejsze parametry wody chłodzącej i ich znaczenie w układzie chłodzenia

Parametr	Znaczenie
pH	Pomiar istotny dla określenia tendencji wody do korozji lub strącania osadów
Przewodnictwo	Pomiar służy do wyznaczenia wartości zasolenia. Woda o wysokim przewodnictwie wykazuje właściwości korozyjne
Mętność	Mętność jest miarą ilości nierozpuszczalnych cząstek w wodzie. Wytrącanie i akumulacja tych cząstek w wymiennikach ciepła obniża wydajność cieplną i jest przyczyną korozji podosadowej.
Zasadowość m	Zasadowość m bardzo dobrze koreluje z odczynem pH, a jej pomiar służy określeniu tendencji do wytrącania węglanu wapnia.
Twardość wapniowa	Parametr umożliwiający przewidywanie wytrącania się osadów węglanu wapnia i innych soli. Również dla sprawdzenia ilości cykli zateżenia wody chłodzącej.
Chlorki	Parametr zwykle używany jako indeks kontrolny liczby cykli zateżenia. Woda o dużym stężeniu chlorków jest silnie korozyjna.
Siarczany	Woda o dużym stężeniu siarczanów jest silnie korozyjna. Siarczany w dużym stężeniu mogą strącać się w postaci trudno rozpuszczalnego osadu.
Amoniak	Wysokie stężenie amoniaku w wodzie przyspiesza formowanie się i wzrost biofilmu. Jon amonowy przyspiesza korozję miedzi.
ChZT _{Mn}	Zakwity biologiczne zwykle ulegają intensyfikacji dla wysokich wartości ChZT _{Mn} .
Ogólna liczba bakterii	Jest jednym z indeksów kontrolnych określających tendencję do formowania biofilmu. Zwykle za pomocą tego parametru określa się efektywność działania biocydu.
Żelazo ogólne	Żelazo ogólne jest głównym składnikiem zanieczyszczającym wodę chłodzącą. Wytrącanie uwodnionych tlenków żelaza w wymiennikach ciepła jest przyczyną korozji podosadowej.

z parametrów (odczyn pH, zasolenie, przewodnictwo) można mierzyć automatycznymi miernikami elektronicznymi, a wynik odczytywać bezpośrednio z wyświetlacza urządzenia. Do oznaczania innych parametrów służą maksymalnie uproszczone testy miareczkowe, w których miareczkuje się próbkę wody z użyciem gotowego roztworu mianowanego odczynnika, w obecności barwnego indykatora. Punkt końcowy miareczkowania sygnalizowany jest zmianą barwy indykatora. Wynik pomiaru uzyskuje się po prostym przeliczeniu ilości zużytego odczynnika miareczkującego. Powyższą metodą można oznaczać wiele parametrów, jak np. twardość ogólną i wapniową, zasadowość m i p, chlorki, amoniak i inne.

Ogólną liczbę bakterii i innych mikroorganizmów oznaczać można z wykorzystaniem opisanych w rozdziale poprzednim testów paskowych (tzw. „dip test”). Spośród wymienionych w tabeli parametrów większą trudnością w oznaczaniu charakteryzuje się je-



Fot. 2 Prosty test miareczkowy do oznaczania zasadowości z barwnym indykatorem

dynie indeks ChZT_{Mn}, wymagający bardziej zaawansowanej procedury analitycznej. Jednak jest to parametr, który nie podlega standardowemu i ciągłemu monitorowaniu, a jedynie w pewnych specyficznych przypadkach (podejrzenie napływu dużego ładunku materii organicznej wraz z wodą uzupełniającą). W tabeli 2 przedstawiono zalecaną częstotliwość pomiarów parametrów wody, dla analiz wykonywanych we własnym zakresie przez użytkownika układu chłodzenia.

Dysponując wynikami analizy wody, w takim podstawowym zakresie, użytkownik nie tylko kontroluje, czy woda spełnia normy narzucone przez producentów urządzeń w je-

go układzie, ale może również wyznaczyć wartości indeksów korozyjnych i osadowych dla panujących w układzie warunków. Wartości tych, tzw. indeksów stabilności wody (Ryznara, Langeliera, Larsona – Skolda) można albo próbować wyznaczać samodzielnie (korzystając z wzorów publikowanych w literaturze), lub też skorzystać z darmowych kalkulatorów dostępnych w sieci internetowej. Ogólne zasady dotyczące interpretacji wyznaczonych wartości indeksów omówiono w drugiej części niniejszego artykułu („Chłodnictwo” nr 5/2007) Znając te wartości, użytkownik może w odpowiedni sposób reagować na niekorzystne tendencje dotyczące wody obiegowej, przykładowo:

TABELA 2

Zalecana częstotliwość pomiaru parametrów w układach chłodzenia z odparowaniem

Parametr	Częstotliwość pomiarów	
	WODA UZUPEŁNIAJĄCA	WODA OBIEGOWA
pH	raz na tydzień	raz na dzień
Przewodnictwo	raz na tydzień	raz na dzień
Mętność	raz na tydzień	raz na tydzień
Zasadowość m	raz na tydzień	raz na tydzień
Twardość wapniowa	raz na tydzień	raz na tydzień
Twardość magnezowa *	raz na tydzień	raz na tydzień
Chlorki	raz na tydzień	raz na tydzień
Siarczany	raz na tydzień	raz na tydzień
Krzemiany *	raz na tydzień	raz na tydzień
ChZT _{Mn}	raz na miesiąc	raz na miesiąc
Żelazo ogólne	raz na tydzień	raz na tydzień

*) Oznaczenia wymagane w układach gdzie występuje ryzyko wytrącania osadów krzemianu magnezu

Producent/ Dystrybutor	Nr kat./ Symbol	Liczba oznaczanych parametrów	Oznaczenia mikrobiolo- giczne	Możliwość wyznaczenia indeksów stabilności wody na podstawie pomiarów		
				Langeliera	Ryznara	Larsona - Skolda
Accepta	KS6001	11	NIE	TAK	TAK	NIE
Hach	2350700	11	NIE	TAK	TAK	NIE
Hanna Instruments	HI 3821	7	NIE	NIE	NIE	NIE
Kittiwake	FG-K25084-KW	7	NIE	TAK	TAK	NIE
Marcom	WCH-1	6	TAK	TAK	TAK	NIE
OMC Envag	KS-4	6	NIE	NIE	NIE	NIE

- w przypadku nadmiernej korozyjności może podnieść twardość wody uzupełniającej układ, poprzez podmieszanie wody zmiękzonej wodą surową lub/i zwiększyć dawkę inhibitora korozji,
- w przypadku nadmiernej tendencji do wytrącania osadów można zwiększyć odsalanie układu lub/i zwiększyć dawkę antyskalanta.

W tabeli 3 przedstawiono zbiorcze zestawienie niektórych dostępnych na polskim rynku zestawów testowych do oznaczania parametrów fizykochemicznych wody chłodzącej.

3. Podsumowanie

Kontrola jakości wody obiegowej w trakcie normalnej eksploatacji układu chłodzenia, czyli tzw. monitoring operacyjny, to proces, z którym obecnie bezproblemowo może poradzić sobie każdy użytkownik instalacji chłodniczej. Jest to możliwe dzięki szerokiej dostępności prostych w użyciu mierników i testów służących do analizy wody. Dzięki

temu użytkownik uzyskuje możliwość wpływania nie tylko na bezawaryjną pracę instalacji, ale również na ekonomikę jej eksploatacji, poprzez efektywną regulację zużycia wody (odsalanie), czy też optymalizację dawek dozowanych chemikaliów.

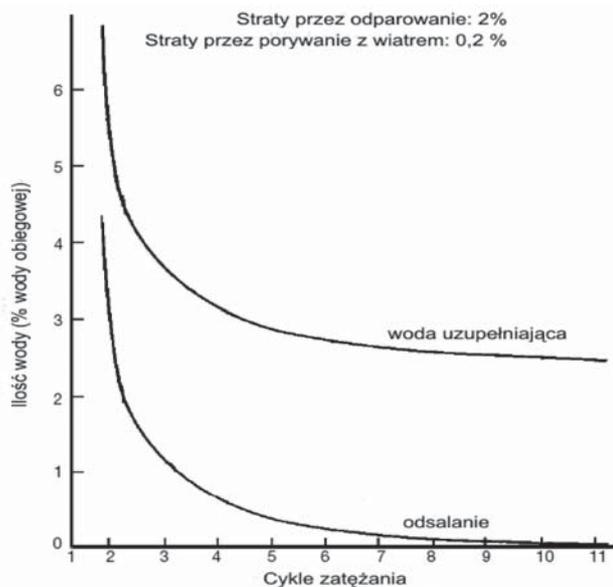
Sz szczególnie często spotykanym błędem eksploatacyjnym jest całkowita rezygnacja z prowadzenia odsalania układu. Zwykle jest to tłumaczone potrzebą oszczędności wody uzupełniającej. Tymczasem prawdziwy efekt ekonomiczny tego zaniechania jest w rzeczywistości ujemny, bowiem straty spowodowane spadkiem wydajności cieplnej urządzeń, na których wytrącił się osad z nadmiernie zasolonej wody, jak również niszczenie korozyjne materiałów konstrukcyjnych, w dłuższej perspektywie stanowią koszt znacznie przekraczający zyski z zaoszczędzonej wody. Te ostatnie zresztą rosną znacząco tylko do osiągnięcia określonej liczby cykli zateżania, natomiast po jej przekroczeniu realna oszczędność wody uzupełniającej jest już bardzo nie-

wielka. Zjawisko to zilustrowano na rysunku 3. Jak widać największą oszczędność wody uzupełniającej uzyskuje się dla 4, maksymalnie 5 cykli zateżania. Większe zateżanie wody obiegowej nie przynosi już znaczących oszczędności na wodzie uzupełniającej.

Z drugiej strony równie często spotykanym błędem jest prowadzenie układu chłodzenia w tzw. systemie „na przelew”. W tym wariantcie zawór spustowy pozostaje otwarty non-stop. Ubytek wody obiegowej jest w sposób ciągły bilansowany przez uzupełnianie wodą świeżą. Najczęściej rozwiązania tego typu stosowane są w sytuacji, gdy woda uzupełniająca jest wodą nieuzdatnioną, o dużej twardości. Unikając jej zateżania w obiegu użytkownik może spowolnić i wydłużyć czas odkładania się osadów mineralnych na powierzchniach wymiany ciepła, nie jest jednak w stanie całkowicie tym procesom zapobiec. Oczywiście takie prowadzenie układu chłodzenia wiąże się z ogromnym marnotrawstwem wody. Kilkuletnia eksploatacja układu chłodzenia w takim systemie generuje koszty za zużycie wody porównywalne z kosztami montażu stacji zmiękczenia i układu odsalania. Jeśli dodatkowo uwzględnimy straty związane z pogorszeniem wydajności cieplnej w układzie, spowodowane odłożonymi osadami, bilans ekonomiczny dla metody „na przelew” okazuje się zdecydowanie niekorzystny.

Reasumując należy stwierdzić, że dla zapewnienia właściwych warunków pracy układu chłodzenia konieczne jest podjęcie następujących działań w zakresie kontroli i monitoringu:

- określenie właściwego stopnia wymiany wody,
- uzupełnianie sprzężone z odsalaniem,
- pomiary analityczne podstawowych właściwości fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody w ramach monitoringu operacyjnego,
- dozowanie i kontrola chemikaliów korekcyjnych zgodnie z opracowanym na podstawie analizy wody programem.



Rys. 3 Zależności pomiędzy ilością wody uzupełniającej, odsalaniem i cyklami zateżania w układzie chłodzenia z odparowaniem