



Chemiczne czyszczenie instalacji chłodniczych

Cz. I Osady eksploatacyjne. Teoria i praktyka

Leszek ZIÓŁKOWSKI*)

Właściwe parametry pracy agregatów chłodniczych i klimatyzacyjnych zapewnia profesjonalny serwis. Jak pokazuje praktyka, powinien on także obejmować usuwanie osadów eksploatacyjnych z powierzchni wymiany ciepła poprzez chemiczne czyszczenie.

W teorii przygotowania wody w obiegach chłodniczych i klimatyzacyjnych znajduje odzwierciedlenie pogląd, że jej uzdatnienie zapobiega tworzeniu się osadów eksploatacyjnych. Jednak praktyka serwisowa wskazuje, że pogląd ten nie jest do końca słuszny. Świadczy o tym fakt, iż firmy wykonujące usługi chemicznego czyszczenia wodnych obiegów chłodniczych mają się coraz lepiej, zwłaszcza w czasie kryzysu, gdy inwestorzy kalkulują koszty szczególnie starannie.

Mechanizm powstawania osadu

Osady kamienia wodnego, ze względu na duże ciepło parowania, najszybciej tworzą się w recykulacyjnych obiegach chłodniczych, gdzie efekt chłodzenia uzyskuje się w wyniku odparowania części wody. Jednak odparowanie wody oraz ciągłe uzupełnianie powoduje jej zateżnienie, co z kolei skutkuje przekroczeniem

ilozynów rozpuszczalności niektórych zawartych w niej związków. Wynikiem jest wytrącanie się osadów. Ze względu na liczne zanieczyszczenia, osady te nie są zazwyczaj jednorodne.

W wodzie chłodniczej występują następujące zanieczyszczenia:

- Mechaniczne organiczne i nieorganiczne, które w czasie filtrowania są zatrzymywane na bibule filtracyjnej;
- Koloidalne, przechodzące przez bibułę filtracyjną, które mogą łączyć się z cząsteczkami wody, tworząc tzw. hydraty;
- Cząsteczkowodyspersyjne, głównie rozpuszczone w wodzie sole i gazy oraz niektóre substancje organiczne. Najczęściej występujące sole to: sole wapniowe, siarczany wapnia, chlorek wapnia, sole magnezu, sole żelaza i manganu, sole sodowe i potasowe, krzemionka oraz krzemiany. Natomiast główne zanieczyszczenia gazowe wody stanowią: azot, tlen i dwutlenek węgla;

*) dr inż. Leszek ZIÓŁKOWSKI – kierownik Działu Chemicznych Czyszczeń w PPH KAMIX Sp. J.

- Bakteriologiczne i organizmy żywe np. glony, bakterie, małże, ptasie pióra i odchody, które nie zostały zatrzymane przez filtry.

Frakcje węglanu wapnia mogą powstawać zarówno ze skłonności wytrącania osadów pod wpływem zmian temperatury, która ma wpływ na rozpuszczalność CaCO_3 , jak i zmiany pH wody, co narusza równowagę węglanowo-wapniową i powoduje strącanie CaCO_3 lub jego rozpuszczanie. Węglan wapnia może krystalizować się w trzech formach: kalcytu, aragonitu i waterytu. W większości przypadków w instalacjach chłodniczych powstaje węglan wapnia w formie kalcytu i monohydratu, ponieważ krystalizacja aragonitu następuje w temperaturze powyżej 60°C . Na proces krystalizacji ma także wpływ przesylenie roztworu, jak również obecność jonów magnezu.

Jedną z pożądanych właściwości wody w obiegach chłodniczych jest jej stabilność, tj. właściwość polegająca na tym, że woda nie wytrąca ani nie rozpuszcza węglanu wapnia. Jednak w warunkach obiegu wodnego np. skraplacza natryskowo-wyparnego zachowanie stabilności jest praktycznie niemożliwe, ponieważ woda chłodnicza ma temperaturę około 30°C , natomiast gorące rurki wężownicy skraplacza mogą mieć temperaturę nawet $50\div 60^\circ\text{C}$, co powoduje dogodne warunki tworzenia się na nich osadu kamienia wodnego. Sprzyja temu także zjawisko zateżnienia jonów soli w wodzie obiegowej, na skutek jej odparowania.

W warstwie kamienia o grubości 11 mm zidentyfikować można aż sześć różnych typów kamienia wodnego

Uzdatnianie wody w układach otwartych

Praktyka wielu chemicznych czyszczeń obiegów wodnych w instalacjach oraz agregatach chłodniczych i klimatyzacyjnych, zrealizowanych przez PPH KAMIX Sp. J., wskazuje, że w zależności od jakości wody, powstają różne osady eksploatacyjne. Należy przy tym obiektywnie zauważyć, iż dzieje się tak niezależnie od faktu, czy woda została uzdatniona, czy też nie. Różnice, które występują, dotyczą raczej skutków w postaci określonych osadów, które zaburzając przepływ ciepła, obniżają parametry pracy i zwiększają koszty energetyczne.

Ilustracją tej tezy są rysunki 1. i 2. Na rysunku 1. widać skraplacz zakamieniony łatwo rozstwarzalnym osadem z wody surowej, natomiast na rysunku 2. jest skraplacz schładzany wodą zmiękczoną, ale zakamieniony wyjątkowo trudno rozstwarzalnym osadem z dużą zawartością krzemianów i siarczanów. Widoczne są ślady skuwania przecinakami twardych fragmentów kamienia, pobieranych do badań symulacyjnych.

Jednak problem osadów eksploatacyjnych nabiera rzeczywistego znaczenia dopiero podczas ich usuwania. Wówczas istotne staje się prozaiczne pytanie – jaki jest koszt czyszczenia układu i w jakim stopniu uzyskany efekt pokryje te koszty oraz, dodatkowo, wygeneruje spodziewane oszczędności?

Znam wiele przypadków, gdy po 3–4 latach eksploatacji nowych, wydajnych skraplaczy natryskowo-wyparnych BAC, w wyniku ich całkowitego zakamienienia osadem nierozstwarzalnym w niskiej temperaturze roztworu jedynym rozwiązaniem była bardzo kosztowna wymiana wszystkich pakietów rurek części ciśnieniowej. W innym przypadku, w jednej z największych ma-



Rys. 1.



Rys. 2.

szynowni chłodniczych w Polsce, w wyniku znacznego zakamienienia powierzchni rurek skraplaczy amoniakalnych i wzrostu temperatury skraplania, silniki elektryczne sprężarek pracowały pod zdecydowanie większym obciążeniem niż nominalne, co spowodowało skrzywienie ich wałów i pęknięcie fundamentów maszynowni.

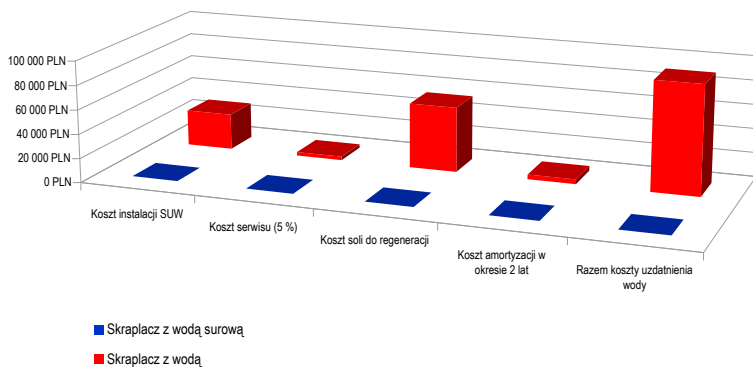
Należy zaznaczyć, że w przeciwieństwie do zjawiska tworzenia i sposobów usuwania kamienia kotłowego w energetyce oraz ciepłownictwie, w układach wymiany ciepła w chłodnictwie istotne jest odstąpienie od złożonych systemów uzdatniania wody. Wynika to z faktu, że im czystsza woda występuje w obiegu, tym twardszy kamień z niej powstanie. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że zwiększa się wówczas procentowa zawartość tych składników, do rozтворzenia których wymagana jest wyższa temperatura roztworów czyszczących, nie tylko kwaśnych, lecz i alkalicznych². Dodatkowo, przy uwzględnieniu faktu, że większość otwartych obiegów wodnych wykonana jest ze stali ocynkowanej, łatwo narażonej na zniszczenie podczas chemicznego czyszczenia z zastosowaniem nieodpowiednich preparatów³, problem staje się bardzo poważny. Ponadto, w odróżnieniu od podobnych osadów, występujących w kotłach parowych w układach chłodniczych (np. wieżach i skraplaczach wyparnych), niemożliwe jest wykonanie czyszczenia polegającego na zanurzeniu zakamienionych fragmentów urządzenia w cyrkulowanych roztworach, a jedynie ich zraszanie. To znacząco zmniejsza skuteczność usuwania osadu oraz wydłuża czas czyszczenia i jego koszt. Pojawiają się także problemy technologiczne samego czyszczenia, np. wpływ wyższej temperatury roztworu czyszczącego, przyspieszającej reakcję rozstwarzania, w opozycji do jednoczesnego wzrostu prędkości ubytku cynku oraz szybszego odparowania kwasów i inhibitorów korozji.

Też, zgodnie z którą proponuje się zaprzestanie uzdatniania wody w otwartych obiegach chłodniczych, potwierdza praktyka wielu przeprowadzonych chemicznych czyszczeń, gdzie osady powstałe z wody nieuzdatnionej, były łatworozstwarzalne. Nie wchodząc w szczegóły, wynika to z warstwowej struktury osadów. Gdy większość masy kamienia tworzy osady łatworozstwarzalne w roztworach kwaśnych, stanowiące często nawet 70 proc. całości, wówczas ich szybkie usunięcie burzy całą konstrukcję, która narosła np. na rurkach skraplacza. Wówczas duża część osadu, także ta nierozstwarzalna w kwasach, w postaci luźnych płatków, wyplukiwana jest z układu, a więc usuwana mechanicznie.

- 1 Oczywiście z wyjątkiem wody osmotycznej, która jednak zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak też dużej korozyjności, nie jest stosowana w obiegach otwartych.
- 2 Do rozтворzenia siarczanów lub krzemionki wymagany jest roztwór o pH 14 i temperaturze $80\div 90^\circ\text{C}$.
- 3 Dla porównania: ubytek warstwy ochronnej cynku, podczas cyrkulowania 5÷7% roztworem KAMIX Zn wynosi <3%.



Rys. 3



Rys. 4.

- 4 Ze względu na łatwość zastosowania preparatu Kamix Zn oraz wysoki stopień bezpieczeństwa ludzi i środowiska, aby zmniejszyć koszty, pracownicy maszynowni takie okresowe czyszczenia wykonują samodzielnie, w ramach swoich obowiązków.
- 5 Dla porównania kosztów chemicznego czyszczenia trzech bardzo zakamienionych skraplaczy zasilanych wodą zmiękczonej, o powierzchni wymiany ciepła 1090 m², wyniósł netto 46000 zł, a to oznacza, że cena odkamienienia 1 m² skraplacza wyniosła 42 zł.

Aby zilustrować ten problem, na rysunku 3. przedstawiono strukturę osadu kamienia wodnego, który powstał mimo właściwej pracy stacji uzdatniania wody typu jonitowego.

W warstwie kamienia o grubości 11 mm zidentyfikować można aż sześć różnych typów kamienia wodnego. Uwzględniając zatem fakt, iż mimo zmiękczenia wody osady i tak powstają, w tempie około 0,5 mm na rok, koszt usunięcia osadu kamienia z wody niezmiękczonej jest znacznie niższy. Ponadto, porównując koszty usuwania osadu powstałego z wody uzdatnionej, należy uwzględnić koszt amortyzacji SUW oraz regeneracji złoża jonitowego solą tabletkową, powiększony o koszt serwisu samej stacji.

Możliwe oszczędności

Dla zilustrowania problemu, przedstawiam wyniki analizy ekonomicznej, wykonanej dla zakładu posiadającego 10 skraplaczy natryskowo-wyparnych o łącznej powierzchni wymiany ciepła 3820 m², schładzanych wodą ziębniczą o łącznej objętości 30 m³, uzupełnianą wodą wodociągową o twardości do 352 mg CaCO₃/l. Na podstawie pomiaru określono, że średnie dzienne zużycie wody na ubytki wynosi 200 m³. W okresie grudzień-luty schładzanie skraplaczy następuje w wyniku niskiej temperatury powietrza. Z kolei w listopadzie i marcu, ubytek wody jest mniejszy, a w miesiącach letnich dobowe zużycie wody wzrasta do 250 m³.

Przy założeniu wydajności SUW 20 m³/h i produkcji 200÷250 m³/dobę oraz regeneracji raz na dobę, potrzeba 1000 dm³ żywicy jonitowej do zmiękczenia. Zużycie soli będzie na poziomie 180 kg/dobę, co daje koszt około 100 zł/dobę. Wynika stąd, że na dzie-



Rys. 5.

więć miesięcy pracy stacji, koszt soli wyniesie około 27000 zł, co w okresie dwóch lat zwiększy koszt do 54000 zł.

Koszt instalacji SUW typu jonitowego to około 30000 zł. Zakładając, że koszt serwisu stacji i obsługi (badania wody, przeglądy itp.) wynosi 5 proc. jej wartości, daje to dodatkowe 1500 zł rocznie. Ponieważ żywotność stacji wynosi 15 lat, koszt wzrośnie o kolejne 2000 zł/rok. Podsumowując, dwuletnie koszty eksplo-



Rys. 6.



Rys. 7.



Rys. 8.



Rys. 9.

atacji stacji zmiękczenia, których można uniknąć, wynoszą około 91000 zł. Powyższe kalkulacje możliwych oszczędności zobrazowano na wykresie (rys. 4.).

Na kolejnych zdjęciach przedstawiono skraplacz, na którym prowadzono czyszczenia kontrolne i badania porównawcze, będące podstawą wspomnianej analizy. Zdjęcie (rys. 5.) przedstawia stan osadu na rurkach o grubości 3÷4 mm po czterech latach eksploatacji, kolejne zdjęcie (rys. 6.) przedstawia ten sam oczyszczony chemicznie skraplacz. Jak widać, mimo chemicznego czyszczenia, warstwa ochronna cynku pozostała nienaruszona. Rysunek 7. przedstawia skraplacz ponownie pokryty warstwą 0,7 mm kamienia, po upływie kolejnych 16 miesięcy, przy stosowaniu wody surowej.

W wyniku wykonanych czyszczeń porównawczych okazało się, że koszt preparatu⁴ do roztworzenia osadu o grubości 1 mm o całkowitej masie 8022 kg i objętości łącznej 3,82 m³ powstałego z wody surowej (po dwóch latach eksploatacji od chwili poprzedniego odkamienienia) wynosi 40000 zł.

W tej sytuacji koszt odkamienienia 1 m² powierzchni wymiany ciepła wyniósł 10,47 zł.⁵ Oczywiście usługę chemicznego czyszczenia można by zlecić firmie zewnętrznej, wówczas całkowity koszt wyniósłby 80000 zł, a koszt jednostkowy odkamienienia 1 m² 20,54 zł. Dla porównania, koszt chemicznego czyszczenia trzech bardzo zakamienionych skraplaczy (rys. 2.), zasilanych wodą zmiękczoną, o powierzchni wymiany ciepła 1090 m², wyniósł netto 46000 zł, a to oznacza, że cena odkamienienia 1 m² skraplacza wyniosła 42 zł. Porównując obie kwoty, widzimy, że koszt usunięcia osadu kamienia powstałego z wody surowej jest dwukrotnie niższy. Ponadto, jak wynika z przykładu, przyjęcie założenia, że z wody zmiękczonej w ogóle nie powstanie osad kamienia, jest nierealne.

Zatem uwzględniając dodatkowe koszty zmiękczenia wody oraz przyjmując jednocześnie założenie, że tempo powstania kamienia byłoby dwa razy wolniejsze, usuwanie osadu z wody

surowej jest i tak aż trzykrotnie tańsze, co potwierdza praktyka zrealizowanych czyszczeń.

Jak już wspomniano, zwiększenie zasolenia wody ziębniczej powoduje odkładanie się, obok kamienia wodnego, także warstwy soli, powodującej przyspieszoną korozję elementów konstrukcyjnych skraplaczy. Na rysunku 8. przedstawiono zakamienione rurki dolnego pęczka skraplacza natryskowo-wyparnego. Jak widać, obok grubej warstwy kamienia wodnego koloru szarego, utworzył się biały nalot soli grubości kilku milimetrów.

Kamień wodny w układach zamkniętych

W układach zamkniętych uzdatnianie wody jest ze wszech miar wskazane. Aby ograniczyć niejednorodność osadów porzerastanych związkami organicznymi i tlenkami żelaza, zaleca się także stosowanie odpowiednich środków korekcji wody: biocydów i inhibitorów korozji. Jednak, jak pokazuje praktyka, i tak nastąpi wytracenie osadu (choć po znacznie dłuższym czasie), który początkowo w formie szlamu, a później kamienia wodnego powstanie na powierzchni rurek parownika, w klimakonwektorach i newralgicznych odcinkach instalacji wody lodowej. Wystąpienie osadu kamienia wykaże częstsze włączanie się sprężarki i pogorszenie parametrów temperaturowych.

Dodatkowo, ze względu na powszechne zastosowania skraplaczy dry-cooler w tego typu układach, na powierzchni lameli pojawi się warstwa kurzu i glonów, która zdecydowanie zmniejszy chłodzenie podmuchem wentylatorów. Przykład takiego specyficznego osadu, który unieruchomił pracę agregatu chłodniczego, pracującego w instalacji produkcji azotu, przedstawiono na rysunku 9.

W stosunku do poprzedniego rodzaju osadu, kamień wodny w układach zamkniętych posiada znacznie mniejszą zawartość węglanów i często całkowicie pozbawiony jest wapnia i magnezu. Natomiast wzrosnąć może zawartość tlenków żelaza, glonów i innych produktów organicznych, w tym produkowanych przez bakterie beztlenowe.⁶ Jednak – inaczej niż w układach otwartych – w tym przypadku chemiczne czyszczenie jest stosunkowo proste, a cyrkulowane roztwory można podgrzewać za pomocą grzałek. Utrzymaniu wysokiej temperatury sprzyja także izolacja termiczna parowników.

Zwiększenie zasolenia wody ziębniczej powoduje odkładanie się, obok kamienia wodnego, także warstwy soli, powodującej przyspieszoną korozję elementów konstrukcyjnych skraplaczy.

Doświadczenia z realizacji czyszczeń obiegow wody lodowej o pojemności 180 m³ w dużym centrum handlowym wskazują, iż mimo zmiękczenia wody, nawet przy minimalnych ubytkach powstałych w trakcie czyszczenia filtrów, wymiana ciepła mimo wszystko powoduje rozrost osadu kamienia wodnego i konieczność jego usuwania co kilka lat. Problem ten dotyczy zwłaszcza wymienników płytowych o powierzchni wymiany ciepła aż 180 m². Przy ich pojemności wodnej tylko 120 l, kanały o grubości 4 mm bardzo szybko zarastają, zmniejszając nawet o połowę przepływ wody. Ponieważ układ ten zasilą pracę ponad 330 pomp ciepła, które wymagają różnicy temperatury w obiegu pierwotnym i wtórnym min 7°C,

⁶ Podczas czyszczenia wyczuwalna była silna woń siarkowodoru.



Rys. 10.



Rys. 11.



Rys. 12.



Rys. 13.



Rys. 14.

LITERATURA

- [1] T. HAJDUK: Woda w obiegach chłodzących skraplacze urządzeń chłodniczych.
- [2] H. JACKMANN: Fürstenfeldbruck. Güntner AG & Co. KG. (tłumaczenie A. GIRDWOYŃ, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji, Politechnika Warszawska).
- [3] Ł. MIKA, W. ZALEWSKI: Właściwości fizyczne i termodynamiczne lodu binarnego (zawiesinowego). Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna. Vol. 9, No 3. ss. 87-91. 2002.
- [4] T. SZYMURA, K. POMORSKA: Zastosowanie modelu chłodnicy wyparnej do badań inkrustracji. Katedra Technologii Chemicznej. Politechnika Lubelska.
- [5] Zdjęcia Leszek ZIÓŁKOWSKI

powstały osad kamienia wodnego natychmiast wpływa na pogorszenie ich pracy.

Niewątpliwie wpływ na powstawanie osadu mają tlenki żelaza, będące produktami korozji, ponieważ w celu obniżenia kosztów, cała rozległa armatura instalacji wody lodowej wykonana została ze stali czarnej. Dla ilustracji problemu, na zdjęciach (rys. 10. i 11.) przedstawiono przebieg reakcji chemicznej w trakcie roztrawiania tego typu osadu. Powstała gęsta, jasna piana szybko ciemniała, aż tworzył się czarny, gęsty szlam.

Odmienny osad powstaje w parownikach agregatów chłodniczych, gdzie obok frakcji siarczanowych i krzemianowych, dużą część zawierają osady będące produktami bakterii beztlenowych. Przykład takiego osadu, powstałego w zładzie z wodą uzdatnioną po korekacji przedstawiono na rysunku 12. Okazało się, że część osadu usunięto roztworem kwaśnym KAMIX, natomiast pozostałość w roztworze alkalicznym preparatu DUO+, który ze względu na silny katalizator reakcji, natychmiast podwyższył temperaturę roztworu z 50 do 80°C, powodując silną reakcję i powstanie w zbiorniku zarobowym grubego, cuchnącego kożucha roztworzonego osadu.

Jeszcze inny typ reakcji, zilustrowanej na rysunku 13., obserwowano podczas czyszczenia parowników zasilanych wodą oligoceniową. Okazała się bowiem, że woda ta, w porównaniu ze zmiękczoną wodą wodociągową, ma mniejsze tendencje do wytrącania osadów.

Serwis urządzeń oraz instalacji chłodniczych i klimatyzacyjnych ma sens tylko wówczas, gdy obok sprawdzenia automatyki, następuje oczyszczenie z osadu powierzchni wymiany ciepła

Odmienny osad roztworzono także podczas czyszczenia parownika agregatu SULZER, pracującego ze skraplaczem typu dry-cooler. Ponieważ chłodzony jest on wspólnym obiegiem z układem chłodzenia głowic sprężarek, powstały osad zawierał dużą ilość produktów korozji, co przedstawiono na rysunku 14.

Podsumowując temat, warto zauważyć, że serwis urządzeń oraz instalacji chłodniczych i klimatyzacyjnych ma sens tylko wówczas, gdy obok sprawdzenia automatyki, następuje oczyszczenie z osadu powierzchni wymiany ciepła. Wówczas prawdą jest to, że usunięcie warstwy kamienia wodnego o grubości 0,6 mm, powodującego wzrost wydajności cieplnej skraplacza o 25 proc., przy jednoczesnym obniżeniu temperatury skraplania, skutkuje zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej przez silniki sprężarek o 2÷4 proc. na 1 K, a także zmniejszeniem obciążenia i stopnia zużycia urządzeń, a więc wydłużenia ich resursów.

Artykuł ten stanowi jedynie wprowadzenie do problemu usuwania osadów eksploatacyjnych. W kolejnych częściach zostaną zaprezentowane sprawdzone i bezpieczne sposoby wykonania chemicznych czyszczeń różnych złożonych instalacji oraz urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych. ■