



Wpływ pola magnetycznego na wodę i roztwory wodne

Aleksandra Szczeń, Emil Chibowski, Lucyna Hołysz*

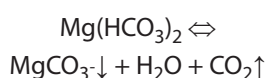
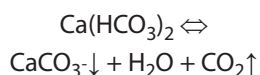
Z chemicznego punktu widzenia woda występująca w przyrodzie stanowi roztwór substancji nieorganicznych i organicznych występujących na Ziemi. Substancje zawarte w wodzie są pochodzenia naturalnego lub są wprowadzane do wód na skutek działalności człowieka. Obecność w wodzie soli i zanieczyszczeń powoduje wytrącanie się osadów na ściankach instalacji, przez które przepływa woda oraz procesy korozyjne metali i betonów. Obecne w wodzie sole wapnia i magnezu oraz krzemionka, po przekroczeniu iloczynu rozpuszczalności w danej temperaturze, wytrącają się w postaci osadu kamienistego lub szlamu. Proces ten zaczyna się już w strefie podgrzewania wody. Osady powstające poniżej temperatury wrzenia stanowią głównie osady twarde. Osady powstające w strefie odparowywania wody, czyli powyżej temperatury wrzenia mają charakter szlamu, który tworząc zawieszoną gromadzi się w części dennej układu wodnego (zbiornika, instalacji). Powoduje to ogólne zanieczyszczenie instalacji, ale usuwanie go nie sprawia dużych kłopotów [1].

Ze względu na przeważającą zawartość określonych składników wyróżnia się trzy rodzaje kamienia kotłowego [1]:

– węglanowy,

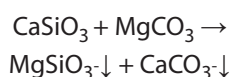
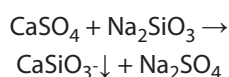
– siarczanowy,
– krzemianowy.

Kamień węglanowy może składać się z węglanu wapnia w postaci gąbczastego osadu o małym przewodnictwie cieplnym lub znacznie twardszego węglanu magnezu.



Kamień siarczanowy (gipsowy) utworzony jest z CaSO_4 oraz $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ i $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Odkłada się on głównie w termicznej obciążonych częściach instalacji grzewczych ze względu na malejącą wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalność. Charakteryzuje się dużą twardością, ale przewodnictwem cieplnym mniejszym od przewodnictwa kamieni węglanowych.

W skład kamieni krzemianowych wchodzi głównie krzemiany wapnia i magnezu, ale również w zależności od zanieczyszczeń, glinokrzemiany. Występujący w wodach zasilających krzemian sodu reaguje z solami wapnia:



Kamień krzemianowy charakteryzuje się dużą twardością i najmniejszym przewodnictwem cieplnym.

Powstawanie kamienia kotłowego w instalacjach grzewczych i wymiennikach ciepła stanowi poważny problem zarówno w gospodarstwach domowych jak i zakładach przemysłowych. Składający się głównie z warstw osadu węglanu wapnia i magnezu kamień kotłowy, powstaje we wszystkich urządzeniach, naczyń i zbiornikach, w których podgrzewa się wodę. Kamień kotłowy osadza się w instalacjach, w których występuje gorąca para wodna, tj. na wewnętrznych ściankach kotłów, czajników, garnków i bojlerów oraz na elementach podgrzewających wodę (np. na powierzchni grzałek elektrycznych). Osadzając się na ściankach urządzeń utrudniają cyrkulację wody i obniżają przewodzenie ciepła przez elementy grzewcze. Małe przewodnictwo cieplne kamienia, oprócz strat energetycznych, powoduje wzrost temperatury blach urządzeń grzewczych, a tym samym miejscowe zmniejszenie ich wytrzymałości. Może to prowadzić nawet do powstawania wybrzuszeń i pęknięć osłabionych elementów. W warstwie kamienia mogą gromadzić się również zawarte w wo-

dzie substancje organiczne. Zalegające w urządzeniach i instalacjach osady kamienia kotłowego powodują nie tylko korozję i zaburzenia hydrauliczne, ale również obniżają ich sprawność cieplną. Zwiększone zużycie energii oraz konieczność wstrzymania produkcji na czas konserwacji instalacji grzewczych powodują duże straty ekonomiczne. Na przykład warstwa kamienia kotłowego o grubości 1 mm powoduje obniżenie wydajności cieplnej o 9,30% oraz stratę 102 ton węgla na tonę wytworzonej pary [2].

W Wielkiej Brytanii obliczono, że przy około 10 milionach „wodnych” domowych instalacjach centralnego ogrzewania, marnowanie nawet przeciętnie 5% rocznego paliwa, kosztującego, około 200 funtów, prowadzi do strat sięgających około 100 milionów funtów. Liczba ta nie obejmuje instalacji publicznych i przemysłowych [3]. Chemiczne metody zapobiegania osadzaniu się kamienia kotłowego oraz jego usuwania powodują zanieczyszczenie środowiska oraz wymagają dużych nakładów finansowych. Powoduje to poszukiwanie alternatywnych do chemicznych metod zapobiegających tworzeniu się kamienia oraz umożliwiających usuwanie już istnieją-



cych złogów. W tym celu wykorzystuje się między innymi ultradźwięki, promieniowanie UV oraz pole elektryczne i magnetyczne [4]. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się w ostatnich latach metody wykorzystujące pole magnetyczne [5-8].

Pierwsze urządzenie do magnetycznego uzdatniania wody opatentował w 1953 roku Vermeiren [9]. Obecnie na rynku oferowanych jest szereg urządzeń do magnetycznej obróbki wody tzw. „magnetyzerów” [5-8]. Są to urządzenia bazujące na wykorzystaniu stałego pola magnetycznego. Jako główne zalety ich stosowania podaje się niski koszt eksploatacji, łatwość montażu, oraz ze względu na brak konieczności stosowania związków chemicznych, ochronę środowiska.

W związku z rosnącym zainteresowaniem wykorzystania pola magnetycznego do uzdatniania wody, w ciągu ostatnich lat w literaturze przedmiotu pojawiło się wiele prac dotyczących wpływu pola magnetycznego na fizyczne i chemiczne właściwości wody i roztworów wodnych [9-21] oraz krystalizację soli nieorganicznych [22-32]. Szczególnie dużo badań dotyczy wpływu pola magnetycznego na proces powstawania osadów węglanu i siarczanu wapnia, które stanowią główny składnik kamienia kotłowego [19,22-40]. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że obecność pola magnetycznego powoduje: powstawanie aragonitu, który słabiej przylega do powierzchni elementów grzew-

czych niż kalcyt [23,25,30,39], zmienia potencjał dzeta cząstek [24,26,35,42], i promuje homogeniczną precypitację węglanu wapnia tzn. jego powstawanie w objętości cieczy a nie na powierzchni elementów grzewczych [10,39]. Choć bardzo często powtarzalność otrzymanych wyników jest stosunkowo niewielka, to zmiany jakie powoduje zastosowanie pola magnetycznego utrzymują się do 200 godz. [32]. Zjawisko to zostało nazwane „efektem pamięci magnetycznej”.

Wykazano również, że zmiany powodowane przez pole magnetyczne zależą m.in. od:

- natężenia pola magnetycznego [23, 25, 33, 42],
- kierunku linii sił pola [20,37],
- czasu jego działania [33, 39, 42],
- szybkości przepływu cieczy [32, 19],
- zanieczyszczeń obecnych w badanych układach [23, 26, 27, 35],
- pH [35, 28].

Pomimo rosnącego zainteresowanie wykorzystaniem pola magnetycznego do zapobiegania tworzenia się kamienia kotłowego i do oczyszczania wód, ta technika uzdatniania wody jest nadal kontrowersyjna z powodu braku pełnej i jednolitej, a także przekonującej teorii wyjaśniającej mechanizm działania magnetyzerów. Często te same magnetyzery w jednych instalacjach wykazują pożądane działanie w innych zaś nie.

Z pośród proponowanych w literaturze mechanizmów wpływu pola magnetycznego na wodę i roztwory wodne do najczęściej pojawiających się

należą mechanizmy związane ze zmianami struktury wody pod wpływem działania pola. Według Colica i Morse'a [10] pole magnetyczne/elektromagnetyczne powoduje zaburzenia równowagi na granicy faz gaz/woda, a jego efekty znikają po odgazowaniu układu. Gazy takie jak CO₂ lub gazy szlachetne promują uporządkowaną klasterową strukturę wody. Struktury takie są dodatkowo stabilizowane przez pole magnetyczne i mogą służyć jako centra heterogenicznego zarodkowania w roztworze.

Knez i Pohar [45] sugerują, że pole magnetyczne wpływa na hydratację jonów CO₃²⁻, które należą do grupy jonów destabilizujących strukturę wody. Ponieważ biorą one bezpośredni udział w powstawaniu kryszta-

łów CaCO₃, mogą więc również wpływać na równowagę odmiann krystalicznych powstającego węglanu wapnia.

Z badań Higashitaniego i współl. [18,42] wynika, że pole magnetyczne powoduje zmiany w strukturze cząsteczek wody, jonów i hydratowanych jonów zaadsorbowanych na powierzchni cząstek koloidalnych, wynikiem czego jest pogrubienie ich efektywnej warstwy adsorpcyjnej. Powoduje to obniżenie potencjału dzeta oraz zmniejszenie współczynnika dyfuzji. Ponieważ proces agregacji maleje wraz ze wzrostem grubości warstwy adsorpcyjnej, pole magnetyczne powoduje również obniżenie szybkości koagulacji. Jeśli więc warstwa hydratacyjna jonów wapniowych i węglanowych

BOLARUS S.A.

PRODUCENT PROFESJONALNYCH URZĄDZEŃ
CHŁODNICZYCH I MROZNICZYCH DLA CEŁOW
MEDYCZYNYCH, FARMACEUTYCZNYCH I LABORATORYJNYCH

www.bolarus.com.pl

Kraina Pingwina

POSIADAMY CERTYFIKATY ZGODNOŚCI Z WYMAGANIAMI DYREKTYWY 93/42/EEC
ORAZ NORMY ISO 13 485 DLA WYROBÓW MEDYCZYNYCH.
Wyroby medyczne sprzedawane są z 8% VAT!

PROGRAM PRODUKCJI:
szafy chłodnicze i mroźnicze, witryny chłodnicze
i mroźnicze, pojemniki mroźnicze.
Szeroki wybór profesjonalnych rejestratorów temperatury

32-700 Bochnia, ul. Wiśnicka 12
tel.: +48 14 614 93 00; e-mail: office@bolarus.com.pl



pod wpływem pola magnetycznego staje się grubsza, trudniej jest ją usunąć w procesie wytrącania. Konsekwencją tego jest powstawanie mniejszej liczby większych cząstek węgla. Według Higashitani i współ. [46] pole magnetyczne powoduje również uporządkowanie cząsteczek wody wokół hydrofobowych łańcuchów.

Toledo i współ. [9] założyli istnienie klasterów wody, w których cząsteczki oddziałują ze sobą poprzez wiązania wodorowe wewnątrz klasterów oraz między sąsiadującymi klasterami. Na podstawie teoretycznych symulacji oraz pomiarów lepkości, napięcia powierzchniowego oraz entalpii parowania wody wynioskowali, że zewnętrzne pole magnetyczne powoduje osłabienie wiązań wodorowych wewnątrz klasterów wody. Powoduje to rozpad większych klasterów i powstawanie mniejszych klasterów, które silniej ze sobą oddziałują.

Z ostatnich badań przeprowadzonych przez Szcześ i współ. [20,21] wynika, że zastosowanie stałego pola magnetycznego powoduje również zmiany przewodności właściwej wody i roztworów wodnych oraz wzrost szybkości jej parowania. Wielkość tych zmian zależy od rodzaju rozpuszczonego elektrolitu oraz czasu działania pola magnetycznego i jest związana z wielkością termodynamicznych funkcji hydratacji jonów. Pomimo braku spójnej teorii wyjaśniającej mechanizm działania pola magnetycznego na wodę i roztwory wod-

ne oraz wielu kontrowersji związanych z jego wykorzystaniem do uzdatniania wody i zapobieganiu tworzeniu się kamienia kotłowego, magnetyzery cieszą się nadal dużym zainteresowaniem, a na rynku pojawiają się nowe firmy oferujące urządzenia do magnetycznej obróbki wody.

Literatura

[1] J. Stańda, Woda dla kotłów parowych i obiegów chłodzących siłowni ciepłych, WNT, Warszawa 1995.
 [2] www.mariex.info.wizytowka.pl/
 [3] www.ogrzewnictwo.pl/index.php?akt_cms=225&cms=272
 [4] N. Saksono, M. Gozan, S. Bismo, E. Krisanti, R. Widanin-grum, S. K. Song, *Korean J. Chem. Eng.*, 25 (2008) 1145.
 [5] www.elektra.internetdsl.pl/idm.htm
 [6] www.gp-grup.com.pl/clean.html
 [7] www.akra.pl
 [8] www.bel-system.pl
 [9] E.J.L. Toledo, T.C. Ramalho, Z.M. Magriotis, *J. Molecular Structure* 888 (2008) 409.
 [10] M. Colic, D. Morse, *Colloids Surf. A* 154 (1999) 167.
 [11] J. Nakagawa, N. Hirota, K. Kitazawa, M. Shoda, *J. Appl. Phys.* 86 (1999) 2923.
 [12] M.C. Amiri, A.A. Dadkhah, *Colloids Surf. A* 278 (2006), 252.
 [13] B. Deng, X.F. Pang, *Chinese Sci. Bull.* 52 (2007), 3179.
 [14] L. Hołysz, A. Szcześ, E. Chibowski, *J. Colloid Interface Sci.* 316 (2007) 996–1002.
 [15] X.F. Pang, B. Deng, *Physica B* 403 (2008) 3571.
 [16] X.F. Pang, B. Deng, *Sci. China Series G: Physics, Mech. Astron.* 51 (2008) 1621.

[17] E.J.L. Toledo, T.C. Ramalho, Z.M. Magriotis, *J. Mol. Struct.* 888 (2008) 409.
 [18] K. Higashitani, J. Oshitani, *J. Colloid Interface Sci.* 204 (1998) 363.
 [19] C. Gabrielli, R. Jaouhari, G. Maurin, M. Keddam, *Water Res.* 35 (2001) 3249.
 [20] A. Szcześ, E. Chibowski, L. Hołysz, P. Rafalski, *Chem. Eng. Processing: Process Intensification* 50 (2011) 124.
 [21] A. Szcześ, E. Chibowski, L. Hołysz, P. Rafalski, *J. Phys. Chem. A*, 115 (2011), 5449
 [22] H.E.L. Madsen, *J. Crystal Growth* 152 (1995) 94.
 [23] S. Kobe, G. Dražić, A. C. Cefalas, E. Sarantopoulou, J. Stražišar, *Cryst. Eng.* 5 (2002) 243.
 [24] E. Chibowski, L. Hołysz, A. Szcześ, *Colloids Surf. A* 222 (2003) 41.
 [25] S. Kobe, G. Dražić, P.J. McGuinness, T. Meden, E. Sarantopoulou, Z. Kollia, A. C. Cefalas. *Mater. Sci. Eng. C* 23 (2003) 811.
 [26] L. Hołysz, E. Chibowski, A. Szcześ, *Water Res.* 37 (2003) 3351.
 [27] E. Chibowski, L. Hołysz, A. Szcześ, M. Chibowski. *Water Sci. Tech.* 49 (2004) 169.
 [28] F. Alimi, M.M. Tlili, C. Gabrielli, M. Georges, M. Ben Amor, *Water Res.* 40 (2006) 1941.
 [29] H. E. L. Madsen, Theory of electrolyte crystallization in magnetic field. *J. Crystal Growth.* 305 (2007) 271.
 [30] A. C. Cefalas, S. Kobe, G. Dražić, E. Sarantopoulou, Z. Kollia, J. Stražišar, A. Meden, *Appl. Surf. Sci.* 254 (2008), 6715.
 [31] F. Alimi, M.M. Tlili, M. Ben Amor, G. Maurin, C. Gabrielli. *Chem. Eng. Proc.* 48 (2009) 1327.

[32] J.M.D. Coey, S. Cass, Magnetic water treatment, *Journ. Magn. Magn. Mat.* 209 (2000) 71.
 [33] K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hata-de, *J. Colloid Interface Sci.* 156 (1993) 90.
 [34] R. Gher, Z.A. Zhai, J.A. Finch, S. Ram Rao, *Wat. Res.* 29 (1995) 933.
 [35] E. Chibowski, A. Szcześ, L. Hołysz, *Langmuir* 21 (2005) 8114.
 [36] S.A. Parsons, B.L. Wang, S.J. Judd, T. Stephenson, *Wat. Res.* 31 (1997) 339.
 [37] J.S. Backer, S.J. Judd, *Wat. Res.* 30 (1996) 247.
 [38] H. Al-Qahtani, *Desalination* 107 (1996) 75.
 [39] C.Y. Tai, C-K. Wu, M.-C. Chang, *Chem. Eng. Science*, 63 (2008) 5606.
 [40] F. Alimi, M. Tlili, M. Ben Amor, C. Gabrielli, G. Maurin, *Desalination* 206 (2007) 163.
 [41] K. Higashitani, K. Okuhara, S. Hatade, *J. Colloid Interface Sci.* 152 (1992) 125.
 [42] K. Higashitani, H. Iseri, K. Okuhara, A. Kage, S. Hata-de, *J. Colloid Interface Sci.* 172 (1995) 383.
 [43] J. Oshitani, R. Uehara, K. Higashitani, *J. Colloid Interface Sci.* 209 (1999) 374.
 [44] P. Vallée, J. Lafait, L. Legendrand, P. Mentré, M-O. Monod, Y. Thomas, *Langmuir* 21 (2005) 2293.
 [45] S. Knez, C. Pohar, *J. Colloid Interface Sci.* 281 (2005) 377.
 [46] K. Higashitani, J. Oshitani, N. Ohmura, *Colloids Surf. A* 109 (1996) 167.

* Aleksandra Szcześ, Emil Chibowski, Lucyna Hołysz, UMCS Lublin, Wydz. Chemiczny, e-mail: aszczes@poczta.umcs.lublin.pl