

OneFlow® – odpowiedzialna ochrona przed zakamienianiem instalacji.

Autorzy:

Pienkowska J., Ragus J. konsultacja Szumski Z., WATTS Industries Polska Sp z.o.o

Streszczenie

Twardość wody jest parametrem istotnym ze względu na aspekty techniczne jak i zdrowotne. Z jednej strony woda przeznaczona do spożycia powinna być relatywnie twarda aby zapewnić wszystkie potrzebne substancje mineralne z drugiej jednak strony woda twarda tworzy niepożądane osady węglanowe, co może powodować uszkodzenia elementów instalacji, czy zwiększać koszty eksploatacji. Do usuwania twardości wykorzystywane są najczęściej kosztowne i obciążające środowisko procesy zmiękczenia oparte na wymianie jonowej. Jednak coraz większe zainteresowanie zdobywają metody zapobiegające powstawaniu osadów w instalacjach, w tym krystalizacja TAC (Template Assisted Crystallization), która umożliwia przekształcenie minerałów odpowiedzialnych za twardość z formy jonowej w nieszkodliwą formę krystaliczną. Związane na złożu minerały w większe kryształy nie pozostawiają osadów, nie powodują zakamieniania instalacji, przy zachowaniu substancji mineralnych w wodzie. Poza zachowaniem właściwości odżywczych, dodatkowo system OneFlow® jest systemem przyjaznym środowisku: brak konieczności dostarczania energii elektrycznej, brak zrzutu zanieczyszczeń do środowiska, brak konieczności dostarczania soli i innych substancji chemicznych.

Twardość ogólna

Woda wykorzystywana do spożycia i na inne potrzeby gospodarcze pochodzi w przeważającej większości ze źródeł naturalnych (ujęcia wód podziemnych, ujęcia wód gruntowych, itp.) i w zależności od charakteru podłoża z jakim ma kontakt lub z którego pochodzi, zawiera mniej lub więcej minerałów. Chemicznie woda zawiera mieszaninę jonów, przede wszystkim takich jak kationy wapnia (Ca^{2+}), kationy magnezu (Mg^{+2}), żelaza (Fe^{2+}) i manganu (Mn^{2+}) oraz jony wodorowęglanowe (HCO_3^-).

Całkowite stężenie jonów zawartych w wodzie określane jest jako twardość ogólna, która dzieli się na twardość przemijająca i trwałą

Rozpuszczone w wodzie jony wapnia i magnezu, jak i innych metali wielowartościowych, w reakcji z udziałem anionu wodorowęglanowego tworzą sole kwasu węglowego. Stężenie tych soli określane jest jako twardość przemijająca. Przemijająca, czyli taka którą łatwo można usunąć z wody podczas ogrzewania, co zdecydowanie przyspiesza reakcję tworzenia nierozpuszczalnych w wodzie węglanów tworzących kamień kotłowy. Twardość trwała (niewęglanowa) to stężenie soli takich jak chlorki, siarczany, azotany, krzemiany powstałe w wyniku obecności w wodzie innych kwasów niż kwas węglowy [19].

Twardość ogólna jest składnikiem całkowitej wartości stałych substancji rozpuszczonych mierzonej ilością wapnia i magnezu w wodzie. Twardość ogólną wyrażamy w miligramach węglanu wapnia na litr ($\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$). W zależności od stężenia określamy wodę w skali od bardzo miękkiej do bardzo twardej. Poniżej umieszczono klasyfikację twardości wody w różnych jednostkach (Tab. 1.).

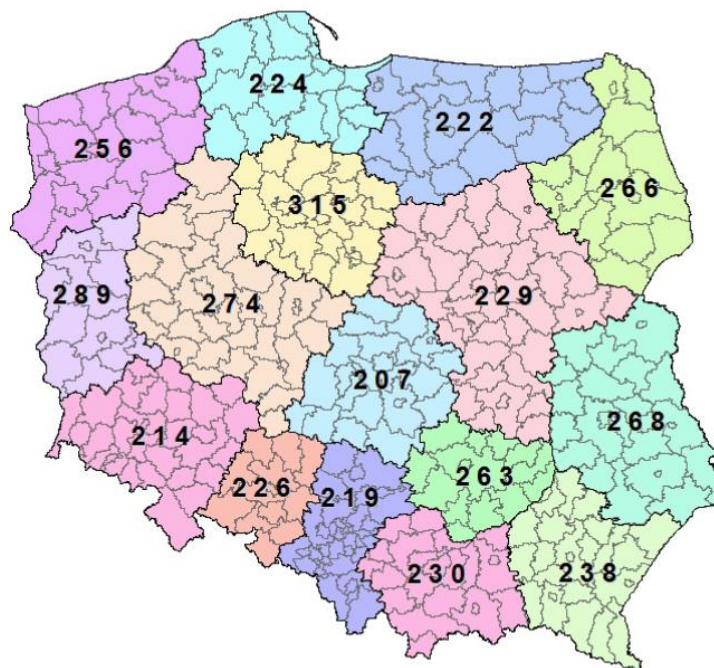
Tab. 1 Skala twardości ogólnej (wyrażona w różnych jednostkach) [10][19].

woda	mg CaCO ₃ /dm ³	mmol/ dm ³	mval/ dm ³	°niem [°dH]	°ang/° Clark	°franc [°f]
bardzo miękka	0 - 100	0-1	0-2	0-5,9	0-0,9	0 - 10
miękka	100-200	1-2	2-4	5,9-11,8	7,1-14,3	10-20
średnio twarda	200-350	2-3,5	4-7	11,8-20,6	14,3-25	20-35
twarda	350-550	3,5-5,5	7-11	20,6-32,4	25-39,3	35-55
bardzo twarda	>550	>5,5	>11	>32,4	>39,3	>55

Obowiązującą w Polsce jednostką twardości wody jest 1 mg CaCO₃/dm³ znaną w literaturze jako stopień amerykański. Poprzednio stosowaną jednostką był 1 miligramorównoważnik (mval) jonu Ca (lub Mg) na liter wody. Stosowane są również inne jednostki, takie jak: stopnie niemieckie, angielskie i francuskie, które różnie definiowano. Aktualnie w Polsce często używaną jednostką są również stopnie niemieckie (1 °n = 10 mg CaCO₃/dm³).

Twardość wody w Polsce

Problem twardości wody w wielu regionach Polski jest dobrze znany. W większości obszarów Polski przeważają wody średnio twarde. Wg [16][11] w Polsce na obszarze 67% występuje woda średnio-twarda, na 25% woda miękka, a woda twarda na około 8%. Niektóre źródła podają nawet, że obszary o dużej twardości i bardzo dużej twardości wody to prawie 70 % powierzchni Polski [14]. Rzadko występują wody bardzo miękkie. Opierając się na danych Głównego Inspektoratu Sanitarnego zamieszczam mapę Polski (rys.1) z wartościami średniej twardości ogólnej wody pitnej w poszczególnych województwach [25].

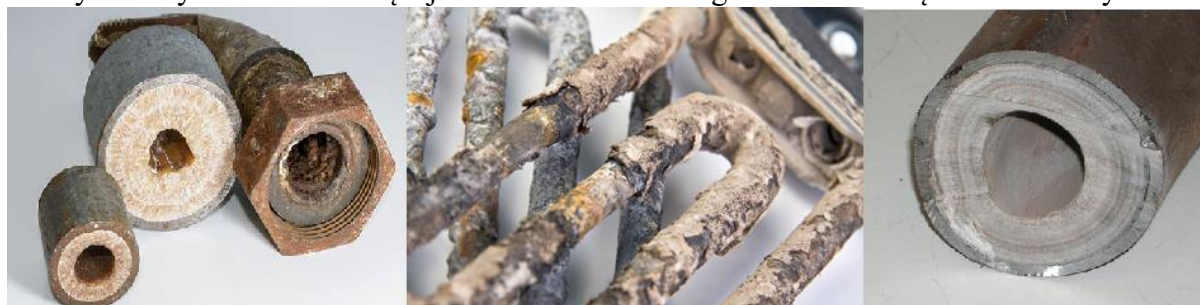


Rys. 1 Średnia twardość ogólna [mg CaCO₃/ dm³] w wodzie przeznaczanej do spożycia przez ludzi w Polsce [25].

Twardość wody a bezpieczeństwo instalacji

Twardość wody i próby rozwiązania problemów z nią związanych w zakresie eksploatacji urządzeń i instalacji wewnętrznych jest tematem aktualnym, zajmującym dużo miejsca zarówno w literaturze naukowej jak również dokumentacjach przygotowywanych przez producentów urządzeń i systemów.

Z jednej strony, woda zbyt miękka (destylowana, zmiękczona) nie jest zalecana do stosowania w instalacjach grzewczych ponieważ charakteryzuje się podwyższonymi wartościami korozyjnymi. Stopień korozji i rozpuszczalność metali zależy również od pH, zasadowości i stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie [19]. Z drugiej strony, woda o wysokiej twardości powoduje wytrącanie się w trakcie eksploatacji instalacji osadów węglanowych stanowiących ogromny problem m. in. dla użytkowników i eksploatorów instalacji. Osady te gromadzą się w rurach, armaturze grzewczej i na elementach armatury sanitarnej. Węglan wapnia tworzy osady nierozpuszczalne, powodujące ograniczenie średnicy wewnętrznej rur, wpływając na zmianę warunków hydraulicznych takich jak: natężenie przepływu czy straty ciśnienia. Zakamienienie ruchomych części armatury, pomp, zaworów, kotłów i innych urządzeń grzewczych powoduje uszkodzenie ich elementów. Gromadzenie się kamienia na elementach grzewczych systemów podgrzewu c.w.u. powoduje zmniejszenie wydajności systemu (nawet o 24% [12]) i zwiększenie kosztów operacyjnych. Ponadto, osady stanowią bardzo dobre podłoże do rozwoju drobnoustrojów, powodując zagrożenie higieniczne dla użytkowników instalacji. Dla użytkownika końcowego istotne są również inne aspekty, o których nie należy zapominać: estetyka przyborów sanitarnych, zużycie środków czyszczących czy wyższe koszty utrzymania i więcej czasu koniecznego na usunięcie zanieczyszczeń.



Rys. 2. Przykład zakamienionych instalacji c.o i c.w.u

Zgodnie z normą PN-93/C-04607 [23] ogólna twardość wody służąca do napełniania instalacji nie powinna przekraczać 4,0 mval/dm³ (11,2 °n). Zalecenia w zależności od łącznej mocy urządzeń i pojemności instalacji zawarto poniżej.

Tab. 2 Zalecane wartości twardości ogólnej wody napełniającej i uzupełniającej urządzeń grzewczych [14].

Całkowita łączna moc grzewcza urządzeń [kW]	Twardość ogólna [°n] zależne od pojemności instalacji w stosunku do jednostki mocy pojedynczego urządzenia grzewczego		
	<20 l/kW	>20<50l/kW	>50l/kW
≤ 50	-bez wymagań przy pojemności wodnej >0,3 l/kW -16,8 (3 mol/m ³) przy pojemności wodnej <0,3l/kW	≤11,2 (2 mol/m ³)	<0,11
>50 ≤ 200	≤ 11,2 (2 mol/m ³)	≤8,4 (1,5 mol/m ³)	<0,11
>50 ≤ 600	≤8,4 (1,5 mol/m ³)	<0,11	<0,11
>600	<0,11	<0,11	<0,11

Zgodnie z aktualnymi zaleceniami producentów armatury, kotłów, pomp ciepła dopuszczalna maksymalna twardość wody będącej czynnikiem grzewczym wynosi 15-20 °dH [16][14]. Oprócz instalacji grzewczych, urządzenia technologiczne takie jak nawilżacze i generatory pary stosowane w pralniach, myjniach oraz w obiektach gastronomicznych wymagają wody miękkiej. Takie same wymagania występują w przypadku instalacji nawadniających, basenowych, systemach chłodzących, itp.

Również właściciele hoteli decydują się w znaczącej większości przypadków na stosowanie różnego typu zmiękczaczy i innych urządzeń, które pozwolą uzyskać wodę nie pozostawiającą zabrudzeń, osadów z kamienia, itp. Aktualnie trudno znaleźć obiekt w którym nie byłoby zalecane lub wymagane usunięcie twardości z wody ze względów technicznych.

Twardość wody a zdrowie

Z jednej strony, jak omówiono powyżej, twardość ogólna jest zjawiskiem niekorzystnym. Z drugiej strony, ze względów zdrowotnych, woda powinna zawierać dostateczne ilości związków wapnia i magnezu. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 7 czerwca 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. poz 1989), ogólna twardość wody pitnej powinna się wahać w zakresie 60 - 500 mg/dm³ (3,36 - 28°n). Światowa organizacja zdrowia WHO, zaleca żeby woda przeznaczona do picia miała twardość ogólną zawartą w granicach: 1-10 mval/dm³ (50-500 mg/dm³CaCO₃). Wartości powyższe są zalecane ze względów zdrowotnych.

W ogólnej mineralizacji wody związki wapnia dominują zwykle nad związkami magnezu. Zalecane stężenie magnezu w wodzie pitnej wynosi 30-125 mg/ dm³. Magnez jest niezbędny w naszej diecie, bierze on udział w wielu procesach fizjologicznych w organizmie człowieka [17][5]. Jony magnezu i wapnia są łatwiej przyswajalne z wody niż z pożywienia. Wg badań magnez zawarty w wodzie do picia jest ok. 30-krotnie łatwiej wchłaniany w porównaniu z magnezem pochodzącym z żywności [22][7][2].

Zgodnie z informacjami WHO, twarda woda może chronić przed niektórymi chorobami, szczególnie układu krążenia [1][3]. Wiele opracowań naukowych [6][9] zwraca uwagę na wpływ miękkiej wody na częstość różnych schorzeń (nadciśnienia tętniczego, występowania zawału serca).

Podsumowując ze względów zdrowotnych, do spożycia powinna być używana woda względnie twarda. Zmiękczenie wody może mieć negatywny wpływ na zdrowie użytkowników i w związku z tym należy unikać procesów zmiękczenia w przygotowaniu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [19][1].

Urządzenia do przygotowania wody a twardość wody

Jak już wyżej wspomniano, twardość powodująca zakamienianie jest zjawiskiem niekorzystnym ale równocześnie ze względów zdrowotnych woda powinna zawierać dostateczne ilości związków wapnia i magnezu.

Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń i systemów zmiękczających wodę lub neutralizujących jej twardość. Najbardziej rozpowszechniony system oparty jest na wymianie jonowej polegającej na wymianie jonów magnezu / wapnia na jony sodu / potasu. W wyniku uzdatniania wody w oparciu o proces wymiany jonowej uzyskujemy wodę o nienaturalnym składzie chemicznym. Otrzymujemy wodę bez wystarczającej ilości jonów magnezu i wapnia, niezbędnych organizmowi człowieka ze względów zdrowotnych. Dodatkowo, typowy zmiękczacze wody wymaga zaworu sterującego i jego zasilania elektrycznego, płukania wstecznego, spustu do kanalizacji, wymiany solanki oraz powierzchni magazynowej do przechowywania soli. Proces wymiany jonowej łączy się dodatkowo z obciążaniem środowiska naturalnego dodatkowymi ilościami substancji rozpuszczonych. Dodatkowe zasolenie ścieków stwarza wiele problemów związanych z procesami ich oczyszczania. Między innymi może ono negatywnie wpływać na rozwój osadu czynnego w czasie oczyszczania biologicznego.

Amerykańscy badacze wykazali negatywny wpływ dostarczania do środowiska naturalnego dodatkowych ilości soli, które mogą wpływać negatywnie na rolnictwo (na wielkość plonów oraz na zapotrzebowanie na wodę) [8][12]. W przypadku wody pitnej przygotowanej w procesie wymiany jonowej często obserwowano zmianę właściwości organoleptycznych. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że w procesie wymiany jonowej są wprowadzane do wody dodatkowe sole, co może stanowić również problem zdrowotny. Woda taka jest nieodpowiednia dla diety niskosodowej oraz dla odżywiania niemowląt, itp.

Na świecie są prowadzone badania nad alternatywnymi metodami obniżania / usuwania twardości wody, bez potrzeby dostarczania soli i z zachowaniem substancji mineralnych w wodzie. Poniżej przedstawiono znane fizyczne metody usuwania twardości wody (PWT - Physical water treatment systems) [18][13][12]:

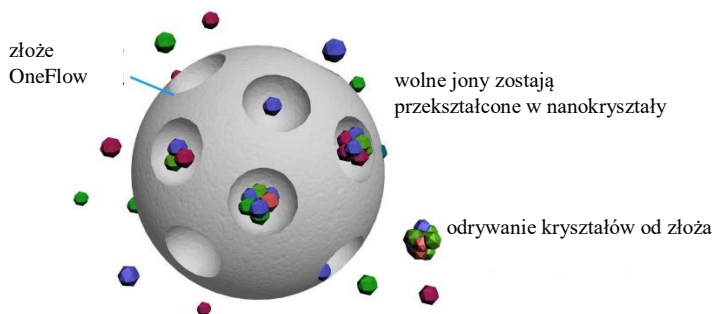
- zmiękczenie w procesach chemicznych, poprzez dodanie polifosforanów (procesy wymagające dostarczania substancji chemicznych, niska skuteczność w wodzie ciepłej)
- zmiękczenie w procesach chemicznych, wprowadzanie CO₂ pod ciśnieniem (proces wymagający dostarczania substancji chemicznych, proces kosztowny)
- zakłócenie cząsteczek w polu magnetycznym (niska skuteczność)

- usuwanie twardości w wyniku indukcji elektrycznej (proces kosztowny ze względu na konieczność dostarczania energii elektrycznej, niska skuteczność)
- krystalizacja TAC (Template Assisted Crystallization)

W większości przypadków dotychczasowe badania metod fizycznych nie pozwoliły osiągnąć zadawalających wyników [12][13]. Wyjątek stanowi metoda krystalizacji wspomaganej (TAC), która wyróżnia się w zapobieganiu powstawaniu kamienia i spełnia nawet najbardziej rygorystyczne normy środowiskowe.

OneFlow® – odpowiedzialna ochrona przed zakamienianiem instalacji

OneFlow® jest systemem efektywnej kontroli odkładania się kamienia w instalacjach, który jest szczególnie przyjazny środowisku. Stosując OneFlow®, w wodzie zachowane zostają potrzebne dla zdrowia jony magnezu i wapnia. W systemie OneFlow® zastosowana została metoda krystalizacji TAC (Template Assisted Crystallization). Krystalizacja następuje na powierzchni ziaren polimerowych stanowiących złoże. Chronione patentem złoże w swoim składzie zawiera cząstki węglanu wapnia, chlorku wapnia oraz lekko kwaśnej żywicy jonowymiennej. Jego ziarnista struktura umożliwia proces katalitycznego zarodkowania, a następnie wzrostu mikroskopijnych kryształów. Odpowiedni skład złoża oraz kształt granulek polimerowych umożliwiają stworzenie wyjątkowo korzystnego środowiska do przyspieszonego wzrostu kryształów. Minerale odpowiedzialne za twardość wody z formy jonowej przekształcane są w nieszkodliwą formę krystaliczną, której cząstki są następnie odrywane i przechodzą dalej wraz ze strumieniem wody. W tej bardzo stabilnej formie wapń i magnez nie osadzają się na rurach, elementach instalacji i przyborach sanitarnych. [4][22].



Rys. 3. Schemat przebiegu krystalizacji TAC (Template Assisted Crystallization)[26].

Dodatkowo jedną z fundamentalnych zalet procesu TAC jest uwalnianie do wody dwutlenku węgla powstałego w wyniku tworzenia się kryształów węglanu wapnia.



Zwiększone stężenie dwutlenku węgla powoduje tworzenie się kwasu węglowego, a tym samym obniżenie wartości pH. Obniżone pH sprzyja rozpuszczaniu już uprzednio zalegających w instalacji osadów. W ten sposób unikamy nie tylko osadzania się węglanów wapnia, ale eliminujemy również już wcześniej powstałe osady [22].

Skuteczność odkamieniania określa się wskaźnikiem nasyceniem substancjami zakamieniającymi (SSI Scale Saturation Index). SSI definiuje różnicę między wskaźnikiem LSI (Langelier Saturation Index) na wlocie i na wylocie [8].

$$SSI = LSI_{wylot} - LSI_{wlot} \quad [8]$$

Ujemny wynik oznacza że system jest skuteczny i zapobiega zakamienianiu. Dodatni wynik określa nasycenie substancjami zakamieniającymi – w instalacji będzie osadzał się kamień kotłowy. W praktyce istnieje wiele sposobów szacowania LSI. Wskaźnik LSI może zostać obliczony na podstawie badań podstawowych parametrów wody na wlocie i wylocie oraz obliczeń zgodnie z następującym równaniem.

$$LSI = pH + A + B + C + D \quad [8]$$

$$A = 0,4341 \cdot \text{Zasadowość ogólna [mg/dm}^3\text{]} + 0.0074$$

$$B = 0,4341 \cdot \text{Zawartość wapnia [mg/dm}^3\text{]} - 0.3926$$

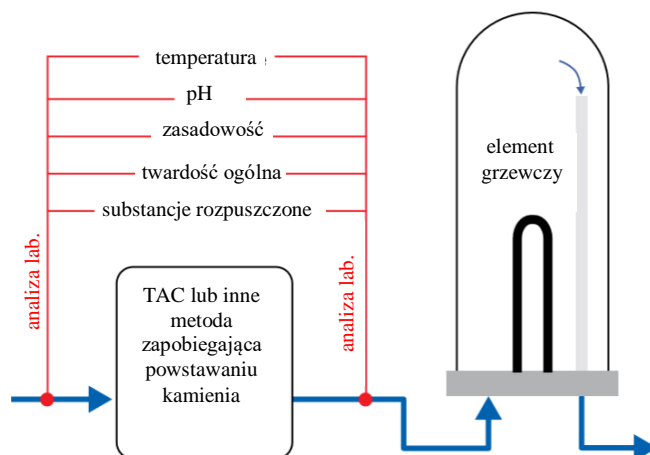
$$C = -12,1 \text{ (jeśli TDS - ilość substancji rozpuszczonych} > 1000 \text{ mg/dm}^3\text{)}$$

$$D = 0,0105 \cdot \text{Temperatura [}^\circ\text{F]} - 0.2368$$

W celu oceny skuteczności odkamieniania wg wyżej opisanej metody SSI, przeprowadzone zostały poniższe badania 1 i 2 [18][8].

1. Badanie rzeczywistej skuteczności zapobiegania zakamienianiu w korelacji z obliczoną wartością SSI.

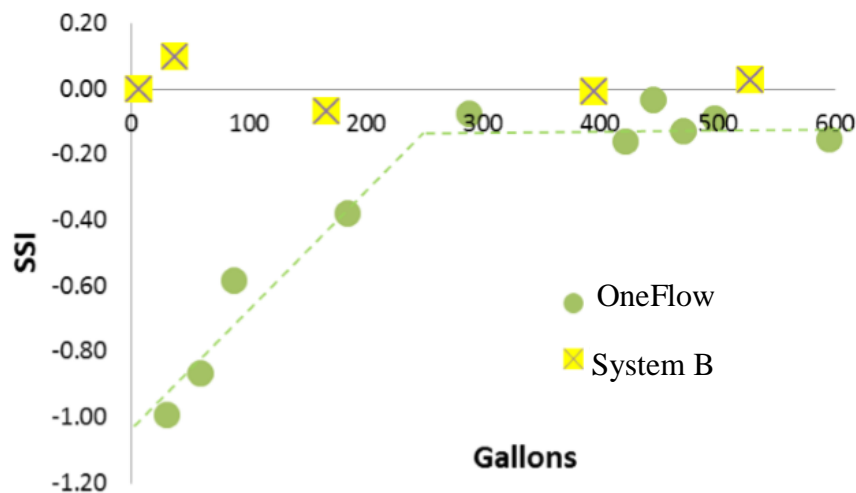
Badania przeprowadzone zostały w oparciu o normę DVGW-W512 [24]. Test polegał na 21 dniowym przepuszczaniu twardej wody (240 mg/dm³) przez komorę krystalizacji oraz cyklicznym włączaniu elementu grzewczego ciepłej wody użytkowej. Ilość wody uzdatnionej wyliczana była na podstawie czasu przepływu i wydajności stałej 1 m³/h. Schemat badań zamieszono poniżej [8][23].



Rys. 4. Stanowisko badawcze SSI [8]

Równolegle przeprowadzone zostały badania dwóch systemów alternatywnych służących zmniejszaniu twardości wody (TAC i System B). Badanie polegało na regularnych pomiarach parametrów wody takich jak: pH, zasadowość, twardość ogólna, zawartość wapnia, temperatura i substancje rozpuszczone (TDS) na wlocie i wylocie. Na podstawie uzyskanych

wyników wyznaczano wskaźnik SSI. W przypadku złoża TAC, przy przepuszczaniu pierwszego 1000 litrów wody uzyskano wyniki SSI ujemne. W trakcie przepuszczania kolejnych litrów SSI ustabilizowało się i oscylowało wokół wartości -0,2. W przypadku Systemu B, SSI pozostawał dodatni (ewentualnie bliski zeru) w całym przebiegu badań. Wyniki badań zaprezentowano poniżej [8].



Rys. 4. Wartości SSI – badanie zgodnie z DVGW-W512 [8][24].

Po zakończeniu testu określona została ilość kamienia kotłowego, który osadził się na elemencie grzejnym i na ściankach zbiornika. W przypadku systemu TAC zaobserwowano redukcję zakamieniania na poziomie 95%. W przypadku drugiego badania (system B) udało się uzyskać zmniejszenie odkładania się kamienia na poziomie 15%.

2. Porównanie wartości SSI przy zastosowaniu różnych rodzajów złoż TAC.

Do badań porównawczych użyto złoż: nowego, zużytego oraz zawierającego miedź. Badania te przeprowadzone były dla wody pochodzącej jednocześnie z trzech miejsc w Stanach Zjednoczonych (ze stanów: Floryda (FL), Texas(TX), i Arizona (AZ)). Parametry wody przed przepuszczeniem przez złoża zestawiono w tabeli poniżej [8].

Tab.3 Parametry wody przed badaniem porównawczym [8].

parametr	jednostka	AZ	FL	TX
kwasowość	mg/dm ³	120	140	200
twardość ogólna	mg/dm ³	200	560	240
pH	NA	7.1	7,2	7,5
TDS	mg/dm ³	580	1300	270
wapń	mg/dm ³	47,6	102	70,3
magnez	mg/dm ³	19,7	73,4	15,3
krzemionka	mg/dm ³	9,4	20,8	12,1
chlorki	mg/dm ³	200	630	18
siarczki	mg/dm ³	100	100	17

Twardą wodę przepuszczano przez złoża przez 2,5 h przy różnych prędkościach przepływu gpm (galon/min): 0,5 gpm w czasie 75 minut i 1 gpm przez 75 minut. Pomiar parametrów wykonano przed rozpoczęciem badań i po przepuszczeniu wody przez złoża po czasie 15, 75, 90 i 150 minut. Każdorazowo obliczano wskaźniki LSI i SSI, które potwierdziły skuteczność procesu krystalizacji TAC. W wyniku badań wykazano obniżoną skuteczność technologii TAC w przypadku wkładów zużytych / zanieczyszczonych miedzią (SSI w pobliżu zero, maksymalnie + 0,05) [8][18].

Skuteczność metody TAC potwierdziły również inne badania, które przeprowadzono w Arizona State University. Badania te wykazały skuteczność metody krystalizacji TAC na poziomie 99% przy temperaturze 80°C i 97% przy 60°C. Zgodnie z wytycznymi DVGW-W512 wymagana jest efektywność na poziomie 80% [18][24].

Podsumowanie

Aby zapewnić skuteczność działania systemu OneFlow[®], konieczny jest dobór złoża o odpowiedniej wydajności. OneFlow[®]. System dostępny dla przepływów z zakresu 1,9 do 1700 l/min oraz w różnych wykonaniach jako gotowe rozwiązania do instalacji zimnej i ciepłej wody użytkowej. W przypadku występowania w wodzie miedzi, chlorków, żelaza, manganu wymagane jest przygotowanie wstępne wody.

System OneFlow[®] z wykorzystaniem technologii TAC oszczędza wodę przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności energetycznej. Zastosowanie systemów uzdatniania wody opartych na technologii krystalizacji TAC jest częścią inteligentnej i zintegrowanej strategii ochrony środowiska.

Zalety systemu OneFlow[®]

- nie wymaga dostarczania soli ani substancji chemicznych,
- ekonomiczny i wydajny system, praktycznie bezobsługowy,
- oszczędność energii, brak konieczności zasilania elektrycznego,
- oszczędność pod względem powierzchni, niewielkie wymiary urządzeń, brak konieczności przechowywania soli lub innych substancji chemicznych,
- niewrażliwość na wahania temperatury czy też ciśnienia wody,
- oszczędność wody, brak płukania wstecznego i brak zrzutu zanieczyszczeń do systemu kanalizacji – przyjazny środowisku,
- prozdrowotne zachowanie substancji mineralnych, brak zmiany składu wody, brak dodawania jakichkolwiek substancji do wody,
- minimalna obsługa – wymiana wkładu ze złożem raz na dwa lub 3 lata (w zależności od modelu),
- prosty montaż polegający na wpięciu króćca wlotowego i wylotowego w instalację wodną.

Literatura:

1. Calderon R.L, Braun G. F.: Water hardness and cardiovascular disease. In: Nutrients in drinking water. WHO, Genewa 2005,117-118.
2. Durlach J.: Magnez w praktyce klinicznej. PZWL, wyd.I, Warszawa, 1991
3. Jamsheer-Bratkowska M., Stankiewicz A., Skotak K., Bratkowski J.: Twardość wody w krajowych wodociągach publicznych w świetle współczesnych poglądów na znaczenie zdrowotne składników mineralnych wody. Technologia Wody nr 6/2010
4. Franks G., Template Assisted Crystallization: A Softening Alternative Pure Water Products, LLC BOX 2783, DENTON, TX 76202 / (940) 382-3814
5. Kłos.L, Jakość wody pitnej w Polsce, ACTA UNIVERSITATIS LODZIENSIS, FOLIA OECONOMICA 2 (313), 2015
6. Kousa A., Moltchanova E., Viik-Kajander M et al.: Geochemistry of ground water and the incidence of acute myocardial infarction in Finland. J. Epidemiol. Community Health, 2004, 58,136-9.
7. Krzewicki J.: Magnez w organizmie człowieka. Pol. Tyg. Lek., 1989, 30.31, 732.735
8. Ma J.,Template-Assisted Crystallization Validated with Scale Saturation Index (SSI) San Antonio, TX, SSI Whitepaper
9. Mason W.P., Shalala D., Friedman D.: Drinking Water and Health. Wyd. Comm. of the Nat. Acad. of Scien., 1977, 440-447 9
10. Nawrocki J.: Uzdatnianie wody. Procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne . Wydawnictwo Naukowe UAM, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
11. Nerbrand C., Agreus L., Lenner R.A. et al.: The influence of calcium and magnesium in drinking water and diet on cardiovascular risk factors in individuals living in hard and soft water areas with differences in cardiovascular mortality. BMC Public Health 2003, 3, 21-
12. Novak, A.C. The Intelligent Scale Solution – Template Assisted , Ann Arbor, Michigan online <https://continuingeducation.bnpmmedia.com/courses/multi-aia/the-intelligent-scale-solution--template-assisted-crystallization/>
13. Labis S., Les "systèmes anti-calcaires" sans sel se prétendent plus économiques et plus écologiques que le traditionnel adoucisseur "à sel"... Efficaces ou pas ? Leo Muyshondt Test Achats 639, Nova mars 2019
14. [PORT] Lachman P. Nowe wytyczne PORT PC. Jakość wody w instalacjach z pompami ciepła Polski Instalator wrzesień 2016
15. Langelier, W.F. (1936). The analytical control of anti-corrosion water treatment. Journal AWWA, 28 (10).
16. Przybysz O. Twardość wody a praca pomp do cyrkulacji cieplnej wody użytkowej (c.w.u.). InstalReporter (online) 2012, 02: 26-27. <https://instalreporter.pl/ogolna/twardosc-wody-a-praca-pomp-do-cyrkulacji-cieplej-wody-uzytkowej-c-w-u/>
17. Raczuk J., Królak E., Biardzka E. Procentowy udział wody do picia w średnim zapotrzebowaniu młodzieży i osób dorosłych na wapń i magnez, Probl Hig Epidemiol 2015, 96(2) 529-533
18. Wiest M., Fox.P.,Wontae L., Thomure T., Evaluation of Alternatives to Domestic Ion Exchange Water Softeners, Arizona State University, April 26, 2011

19. Zdanowicz A., Płatek B., Twardość wody przeznaczonej na spożycia przez ludzi
http://mpwik.milanowek.pl/app/webroot/files/ckeditor/jakosc_wody_2015/Artykuł_Twardość_wody_przeznaczonej_do_spożycia_przez_ludzi.pdf
20. Ahn M.K, Han Ch., Technologies for the Removal of Water Hardness and Scaling Prevention Journal of Energy Engineering, Vol. 26, No. 2, pp.73~79(2017)
<https://doi.org/10.5855/ENERGY.2017.26.2.109>
21. Chubb M., Softening Alternatives, CE, CWS-VI, Water Conditioning & Purification, Januar 2011, <http://archive.wcponline.com/pdf/1101Michaud.pdf>
22. Smith K.R., Can Physical Water Treatment Prevent and Control Scale? Prevent and Control Scale? Exploring a New Technology Paradigm Water Conditioning and Purification, February 2007,.
23. Norma PN-C-04607:1993 - wersja polska Woda w instalacjach ogrzewania -- Wymagania i badania dotyczące jakości wody
24. Wytyczne DVGW W 512:1996-09 Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zur Verminderung von Steinbildung Englischer Titel
25. Testing procedure for the evaluation of the effectiveness of water conditioning devices for the diminution of scaling 1996-09
26. Główny inspektorat Sanitarny <https://gis.gov.pl/zywnosc-i-woda/twardosc-wody/>
27. <http://thescalesolution.com>