



# **Żelazo**

w wodzie przeznaczonej  
do spożycia przez ludzi

---

Znaczenie i zagrożenia dla bezpieczeństwa zdrowotnego  
Postępowanie w przypadku podwyższonych wartości stężeń

© Główny Inspektorat Sanitarny 2018

Wszelkie prawa zastrzeżone

Niniejsze opracowanie jest chronione prawem autorskim. Prawa autorskie do niniejszego opracowania przysługują Głównemu Inspektoratowi Sanitarnemu.

Każde wykorzystanie niniejszego opracowania lub jego fragmentu wymaga wskazania przynajmniej źródła.

Warszawa, 2018

Opracowano na zlecenie Głównego Inspektoratu Sanitarnego: Dorota Maziarka, Bożena Krogulska – Zakład Bezpieczeństwa Zdrowotnego Środowiska Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego – Państwowego Zakładu Higieny.

## SPIS TREŚCI

Wstęp .....	4
I. Informacje ogólne .....	5
II. Źródła żelaza w wodach ujmowanych do celów zaopatrzenia ludności oraz w wodzie przeznaczonych do spożycia przez ludzi na etapie jej uzdatniania i dystrybucji .....	6
III. Rola i przemiany metaboliczne żelaza w organizmie człowieka .....	8
IV. Podwyższone stężenie żelaza w wodzie przeznaczonych do spożycia przez ludzi – znaczenie dla stanu zdrowia ludzi, oceny sensorycznej wody i jej akceptowalności .....	14
V. Podwyższone stężenie żelaza w wodzie przeznaczonych do spożycia przez ludzi – wpływ na stan techniczny systemu dystrybucji wody .....	17
VI. Znaczenie podwyższonych stężeń żelaza w wodzie przeznaczonych do spożycia przez ludzi – w świetle postanowień dyrektywy Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonych do spożycia przez ludzi, przepisów rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonych do spożycia przez ludzi oraz zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) .....	19
Podsumowanie .....	21
Piśmiennictwo .....	23
Załączniki .....	24
Przekroczenie wartości parametrycznej stężenia żelaza w wodzie – zasady postępowania ...	25
Propozycje wzorów komunikatów Państwowego Powiatowego/Granicznego Inspektora Sanitarnego w przypadku podwyższonego stężenia żelaza w wodzie przeznaczonych do spożycia przez ludzi: .....	38

## WSTĘP

Opracowanie „Żelazo w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Znaczenie i zagrożenia dla bezpieczeństwa zdrowotnego. Postępowanie w przypadku podwyższonych wartości stężeń” **nie jest źródłem powszechnie obowiązującego prawa**, lecz ma charakter pomocniczy w realizacji przez organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej zadań w zakresie nadzoru nad bezpieczeństwem zdrowotnym wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Niniejsze opracowanie ma charakter ogólny, kierunkowy. W związku z powyższym przy rozpatrywaniu określonego przypadku przekroczenia wartości parametrycznej dla żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, należy każdorazowo brać pod uwagę indywidualne uwarunkowania występujące w danej sytuacji (np. stwierdzone przekroczenia wartości parametrycznych innych parametrów).

## I. INFORMACJE OGÓLNE

Żelazo należy do najczęstszych zanieczyszczeń wody ujmowanej na zaopatrzenie ludności, występując w znacznych ilościach, przede wszystkim w wodach podziemnych, do których przenika z warstw geologicznych. W stosunku do wartości uznawanych za optymalne z punktu widzenia jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, które w myśl przepisów prawnych nie powinny przekraczać 200 µg/l (0,2 mg/l), występuje ono w podwyższonych stężeniach w ok. 70% surowych wód z ujęć podziemnych, wykazując znaczną rozpiętość stężeń. W uzdatnionej wodzie przesyłanej do odbiorców częstość przekroczeń wartości parametrycznej jest mniejsza, nadal jednak należy do najczęstszych nieprawidłowych zmian w jakości wody, zwłaszcza w małych wodociągach.

Głównym powodem ustalenia wartości parametrycznej żelaza w przepisach prawnych na niskim poziomie – 200 µg/l (0,2 mg/l) (rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. poz. 2294) jest niekorzystny wpływ wyższych stężeń żelaza na stan techniczny sieci wodociągowej oraz na wskaźniki organoleptyczne wody – barwę, mętność, a także metaliczny smak wody, budzące zastrzeżenia konsumentów. Oznacza to w praktyce konieczność uzdatniania wody z większości ujęć podziemnych, wykorzystywanych na potrzeby mieszkańców oraz czuwanie nad tym, aby nie dochodziło do przenikania żelaza do wody w trakcie jej uzdatniania i dystrybucji.





## **II. ŹRÓDŁA ŻELAZA W WODACH UJMOWANYCH DO CELÓW ZAOPATRZENIA LUDNOŚCI ORAZ W WODZIE PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI NA ETAPIE JEJ UZDATNIANIA I DYSTRYBUCJI**

Żelazo należy do najbardziej rozpowszechnionych składników skorupy ziemskiej, będąc jej czwartym co do częstości występowania składnikiem [8,9]. Występuje powszechnie w utworach geologicznych w postaci tlenków, węglanów i siarczków, z których z łatwością przenika do wód podziemnych, osiągając w nich niekiedy znaczne wartości stężeń, w skrajnych przypadkach do kilkudziesięciu mg/l. Proces ten uwarunkowany jest składem chemicznym i strukturą utworów geologicznych, z których żelazo jest uwalniane w wyniku hydrolizy i działania rozpuszczonego w wodzie dwutlenku węgla. Znaczną zawartością żelaza charakteryzują się skały magmowe oraz ilaste skały osadowe, rudy siarczkowe, piryty i łupki piritowe. Występowaniu wysokich stężeń żelaza sprzyja niska wartość pH wody oraz wysoka zawartość substancji organicznych. Obserwuje się je w strefach kwaśnych wód w utworach czwartorzędowych, jak również w wodach torfowiskowych i bagiennych, w których żelazo występuje w formie soli kwasów humusowych. Poziomy żelaza w wodach podziemnych mogą także ulegać zmianie i wzrostowi w wyniku przemian hydrogeochemicznych w sąsiedztwie ujęcia wody w związku z jego eksploatacją i wynikającym z niej obniżeniem powierzchni zwierciadła wody wokół miejsca jej poboru [6].

Podwyższone wartości stężeń żelaza w wodach ujmowanych na zaopatrzenie ludności występują przede wszystkim w wodach podziemnych, w których ich głównym źródłem są wymienione wyżej substancje mineralne, obecne w utworach geologicznych. W Polsce problem ten dotyczy ok. 70% ujęć wód podziemnych. Stężenie żelaza może w tych warunkach wahać się w szerokich granicach, od ilości śladowych do kilkudziesięciu tysięcy  $\mu\text{g/l}$  (30 000-40 000  $\mu\text{g/l}$ ). Często towarzyszy im znaczna zawartość jonu amonowego, manganu i dwutlenku węgla. Wysokie stężenie żelaza w wodach podziemnych może także wynikać z ich zanieczyszczenia przez wody kopalniane, odcieki ze składowisk odpadów, zwłaszcza górniczych, ścieki przemysłowe z obiektów górniczych, kopalni węgla i rud żelaza w trakcie ich eksploatacji lub likwidacji, jak również ścieki z zakładów wzbogacania rud metali, zakładów chemicznych i innych instalacji przemysłowych, w których wykorzystywane są lub przerabiane materiały o znacznej zawartości żelaza [5].



Wody powierzchniowe rzadko zawierają znaczące ilości żelaza. Występuje w nich ono z reguły w niewielkich ilościach, nieprzekraczających kilkudziesięciu  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Przyczynia się do tego większa dostępność tlenu w wodach powierzchniowych, która sprawia, że przeważa w nich trudno rozpuszczalna w wodzie forma  $\text{Fe}^{3+}$ , o wyższym stopniu utlenienia, ulegająca wytrąceniu i sedymentacji w osadach dennych. Podwyższona zawartość żelaza w wodach powierzchniowych może wpływać na wzrost zużycia tlenu rozpuszczonego (nasilenie deficytu tlenu w wodzie) oraz zwiększać ilość zawieszin w wodzie w wyniku wytrącania się związków żelaza  $\text{Fe}^{3+}$  o niskiej rozpuszczalności.

W praktyce poza wodami ujmowanymi istotne znaczenie ma także wzrost stężenia żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia, następujący w trakcie jej uzdatniania i dystrybucji. Może do niego dochodzić w razie wykorzystywania soli żelaza jako koagulantów w procesie uzdatniania wody i następnie niewystarczającej ich eliminacji. Problemem o dużej skali jest ponadto przenikanie do wody żelaza z elementów konstrukcyjnych systemów dystrybucji, głównie produktów korozji niedostatecznie przed nią zabezpieczonych rur, zbiorników i kształtek wykonanych ze stali i żeliwa, jak również żelaza uwolnionego z zerwanych osadów z sieci wodociągowej, które uprzednio uległy depozycji w wyniku niewystarczającego oczyszczenia wody ujmowanej ze związków żelaza [8].

Osiągane stężenia i forma występowania żelaza w wodach kształtowane są w dużej mierze przez warunki utleniająco-redukcyjne i wartości pH wody, zależnie od których żelazo może przyjmować drugi ( $\text{Fe}^{2+}$ ) lub trzeci ( $\text{Fe}^{3+}$ ) stopień utlenienia. W wodach podziemnych, jak również niektórych głębokich jeziorach i zbiornikach, w których panują warunki redukcyjne, charakteryzujące się niską zawartością tlenu rozpuszczonego, przeważa forma  $\text{Fe}^{2+}$ . Cechuje się ona znaczną rozpuszczalnością w wodzie, co pozwala na osiągnięcie wysokich wartości stężeń, którym w opisanych warunkach nie towarzyszy znaczny / wyraźny wzrost barwy ani mętności wody. W wodach o znacznym stopniu napowietrzenia, w tym w wodach powierzchniowych, dominują natomiast trudno rozpuszczalne w wodzie sole żelaza  $\text{Fe}^{3+}$ , odznaczające się charakterystycznym rdzawo-brunatnym zabarwieniem. Ulegają one łatwo wytrąceniu w formie osadu lub adsorpcji na powierzchniach, co przeciwdziała osiągnięciu wysokich stężeń żelaza w wodach tego rodzaju, przyczyniając się zarazem do wzrostu mętności i barwy wody nawet przy relatywnie niewielkich stężeniach żelaza.

Oceniając następstwa podwyższonych stężeń żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi należy wziąć pod uwagę:

- wpływ na bezpieczeństwo wody dla zdrowia ludzi,
- znaczenie dla oceny sensorycznej wody i jej akceptowalności przez konsumentów,
- wpływ na stan techniczny sieci dystrybucji wody i warunki jej eksploatacji.



### III. ROLA I PRZEMIANY METABOLICZNE ŻELAZA W ORGANIZMIE CZŁOWIEKA

Odmienne od wielu zanieczyszczeń wody przeznaczonych do spożycia przez ludzi, żelazo jest mikroelementem niezbędnym dla organizmu człowieka, warunkującym prawidłowy przebieg licznych reakcji metabolicznych [1,7]. Decydują o tym specyficzne właściwości chemiczne żelaza i wspomniana zdolność występowania na dwóch stopniach utlenienia –  $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$ , która sprawia, że może ono pełnić funkcję zarówno akceptora, jak i donora elektronów. Jony żelaza w organizmie działają jako kofaktory w reakcjach enzymatycznych, w których dokonuje się przenoszenie elektronów. Wchodzą w skład hemoprotein – białek zawierających cząsteczkę hemu, uczestniczących w procesach przenoszenia tlenu (hemoglobina, mioglobina), oddychania komórkowego – transportu elektronów w łańcuchu oddechowym w mitochondriach (cytochromy, oksydaza cytochromowa) oraz w redukcji nadtlenków w celu ochrony struktur komórkowych przed uszkodzeniem (peroksydazy, katalazy). Biorą ponadto udział w licznych procesach metabolicznych, do których należą między innymi:

- synteza i katabolizm hormonów,
- synteza DNA,
- wytwarzanie limfokin i aktywacja limfocytów T,
- reakcje fagocytozy,
- synteza włókien kolagenowych,
- fosforylacja oksydacyjna i synteza związków bogatoenergetycznych,
- regulacja różnicowania i proliferacji komórek,
- generowanie aktywnych form tlenu (wolnych rodników tlenowych) i indukcja toksycznego dla komórek stresu oksydacyjnego,
- metabolizm ksenobiotyków,
- metabolizm lipidów,
- synteza neuroprzekaźników – dopaminy, serotoniny, noradrenaliny,
- budowa osłonki mielinowej włókien nerwowych [1,7].

Ocenia się, że zasoby żelaza w organizmie osoby dorosłej wynoszą ok. 3,5-4,2 g, z czego ok. 3 g jest niezbędne do prawidłowego przebiegu bieżących procesów metabolicznych, pozostała część stanowi natomiast rezerwę czynnościową. Największa część zawartego w orga-

nizmie żelaza (ok. 70%) wchodzi w skład hemoglobiny krążących we krwi erytrocytów, ok. 5% jest związane z mioglobina i enzymami, w których pełni funkcję kofaktora, 1% związane jest z białkiem transportującym żelazo – transferyną; blisko 30% wewnątrzustrojowych zasobów żelaza magazynowanych jest jako hemosyderyna i ferrytyna, w komórkach wątroby i układu siateczkowo-śródbłonkowego [1,7,8,9].

Specyficzną cechą metabolizmu żelaza w organizmie jest fakt, że przebiega on przy niewielkiej jego utracie i niewielkim przyswajaniu. Dobowa utrata żelaza wynikająca głównie ze złuszczenia się komórek nabłonka jelitowego oceniana jest na 0,5-1,0 mg. Dodatkowe ilości obejmują 0,1 mg wydalane wraz z moczem, 0,2 mg ze złuszczonej naskórką i wraz z potem, 0,5 mg w wyniku fizjologicznej minimalnej utraty krwi w przewodzie pokarmowym. Ilość żelaza przyjmowanego w ciągu doby wraz z pożywieniem ocenia się na 10-20 mg, z czego przyswojeniu ulega przeciętnie około 10-15%. Żelazo uwalniane w organizmie z ulegających rozpadowi erytrocytów (ok. 25 mg/d) jest wychwytywane przez komórki układu siateczkowo-śródbłonkowego i wykorzystywane ponownie do erytropoezy, pokrywając prawie w całości związane z tym zapotrzebowanie (20-35 mg/d) [1,7].

Podstawowym źródłem żelaza dla organizmu człowieka jest żywność. Zawartość żelaza w poszczególnych artykułach spożywczych jest zróżnicowana – największe jego ilości zawierają podroby (80-150 mg/kg), mięso, niektóre produkty zbożowe oraz zielone warzywa (20-50 mg/kg), jednak przyswajalność żelaza z powyższych źródeł jest zróżnicowana – wynosi 20-25% w przypadku żelaza hemowego i zaledwie 2-5% w przypadku żelaza niehemowego [7,8].

Wchłanianie żelaza w przewodzie pokarmowym jest procesem podlegającym ścisłej kontroli. Po uwolnieniu żelaza ze związków organicznych w kwaśnym środowisku soku żołądkowego, żelazo jest redukowane do postaci  $Fe^{2+}$ , a następnie ulega wchłonięciu przez enterocyty – komórki nabłonka dwunastnicy i początkowego odcinka jelita cienkiego. W komórkach tych następuje wiązanie żelaza z białkiem (apo)ferrytyną, w której wnętrzu ulega ono utlenieniu do formy  $Fe^{3+}$ . Część tych komórek ulega złuszczeniu i wydaleniu, z części komórek natomiast żelazo uwalniane jest z ferrytyny i przenika do krążenia, gdzie łączy się z białkiem transportowym – transferyną. W tej postaci dociera ono do komórek, w których jest wykorzystywane w procesach metabolicznych. Pozostała pula żelaza może być magazynowana poprzez wiązanie się z (apo)ferrytyną, z której w razie potrzeby jest szybko mobilizowane na potrzeby organizmu, lub też w formie hemosyderyny, która gromadzi większe ilości żelaza, pozbawiona jest jednak możliwości jego szybkiego uwalniania. Możliwość taką zapewniają natomiast makrofagi wątroby i śledziony,

które gromadzą żelazo uzyskane poprzez fagocytozę rozpadających się erytrocytów i częściowo deponują je w postaci ferrytyny [1].

Kontrola procesu obrotu żelazem w organizmie dokonuje się poprzez regulację jego wchłaniania w przewodzie pokarmowym i uwalniania z układu siateczkowo-śródbłonkowego. W stanie niedoboru żelaza zmniejsza się jego wiązanie z (apo)ferrytyną, zwiększa natomiast ilość przechodząca z enterocytów do krążenia. Jednocześnie zwiększeniu ulega uwalnianie żelaza zgromadzonego przez makrofagi. W przypadku zdeponowania nadmiernych ilości żelaza w organizmie procesy te zmierzają w odwrotnych kierunkach – większość żelaza w enterocytach ulega związaniu z (apo) ferrytyną i wydaleniu wraz ze złuszczonej nabłonka jelitowego, blokowane jest natomiast uwalnianie żelaza przez makrofagi układu siateczkowo-śródbłonkowego. Kluczową rolę regulacyjną w tych procesach odgrywa wytwarzane w wątrobie białko hepcydyna, która hamuje wchłanianie żelaza z enterocytów i zmniejsza uwalnianie żelaza przez makrofagi, przeciwdziałając tym samym wchłanianiu nadmiernych ilości żelaza. Ilość wytwarzanej hepcydyny jest regulowana przez wielkość wewnątrzustrojowych zapasów żelaza. Znaczna zawartość żelaza w hepatocytach i duże jego zapasy w organizmie powodują wzrost produkcji hepcydyny, która ogranicza wchłanianie żelaza w przewodzie pokarmowym i jego uwalnianie z makrofagów. Mechanizm ten przyczynia się do utrzymania zasobów żelaza w organizmie na stabilnym poziomie, przeciwdziałając w pewnych granicach zarówno niedoborowi, jak i nadmiarowi żelaza [1,7]. Należy przy tym dodać, że badania różnych populacji i grup w ich obrębie wykazują najczęściej znaczny udział osób wykazujących niedobór żelaza lub niedokrwistość z tego powodu, wynoszący od kilkunastu do dwudziestu kilku procent, także w krajach rozwiniętych. W badaniu duńskim aż 40% badanych kobiet wykazywało niską lub bliską zeru rezerwę żelaza ustrojowego, podczas gdy adekwatne zapasy stwierdzano jedynie u 14% badanych [6].

Z uwagi na rolę żelaza w wymienionych wyżej procesach metabolicznych, niezbędne jest stałe dostarczanie organizmowi pewnych jego ilości. Dobowe zapotrzebowanie na żelazo różni się w zależności od wieku, płci, stanu fizjologicznego i rodzaju diety, z którą wiąże się dostępność żelaza i mieści się przeciętnie w zakresie 10-50 mg. Głównym źródłem żelaza dla organizmu jest żywność, z wodą przeznaczoną do spożycia przez ludzi organizm pobiera ok. 10% przyjmowanej w ciągu doby ilości żelaza [8,9].

Z praktyki klinicznej znane są przypadki ostrych zatruc przyjmowanymi drogą doustną solami żelaza, głównie środkami farmakologicznymi stosowanymi w leczeniu niedokrwistości z niedoboru żelaza [2]. Dotyczą one praktycznie wyłącznie dzieci poniżej 6. roku życia. Burzliwe objawy

ostrego zatrucia występują, gdy przyjęta dawka żelaza przekracza 60 mg/kg masy ciała. Stwierdzone wtedy zmiany obejmują:

- żrące uszkodzenie i krwotoczne zapalenie błony śluzowej żołądka, z krwawieniem o znacznym nasileniu i maszyną utratą płynów, prowadzącą do wstrząsu,
- znaczne ilości przyjętego doustnie żelaza przełamują istniejące bariery fizjologiczne, nie dopuszczające do przyswojenia jego nadmiaru. Rezultatem jest wchłonięcie w krótkim czasie bardzo dużej ilości żelaza, przekraczającej możliwość kontroli zwykłych mechanizmów jego redystrybucji,
- nadmiar żelaza w strukturach tkankowych w powyższej sytuacji prowadzi do znacznego wzrostu wytwarzania aktywnych form tlenu – wolnych rodników tlenowych, powodujących peroksydację i uszkodzenie lipidów błon komórkowych. Wewnątrzkomórkowe mechanizmy obronne przy tak dużej ilości aktywnych form tlenu są nieskuteczne, czego efektem jest tak zwany stres oksydacyjny – uszkodzenie i zaburzenie funkcji komórek, wynikające z uszkodzenia przez wolne rodniki lipidów, białek i DNA. Jednym z następstw stresu oksydacyjnego jest niewydolność mięśnia serca, wywołana jego uszkodzeniem w powyższym mechanizmie,
- wewnątrz komórek następuje zaburzenie transportu elektronów w łańcuchu oddechowym w mitochondriach, czego następstwem jest rozprężenie fosforylacji oksydacyjnej, uniemożliwiająca syntezę związków bogatoenergetycznych. Prowadzi to do aktywacji beztlenowych szlaków metabolizmu i rozwoju kwasicy metabolicznej,
- poszerzenie naczyń włosowatych z ich zwiększoną przepuszczalnością oraz koagulopatią,
- możliwa niewydolność wielonarządowa i uszkodzenie licznych narządów wewnętrznych. Żelazo może w tym przypadku wywierać efekt jak systemowa substancja toksyczna, działająca wewnątrzkomórkowo, powodując ostrą martwicę wątroby, uszkodzenie płuc, nerek i martwicę trzustki.

Ryzyko ostrych działań toksycznych w omawianym przypadku jest umiarkowane, gdy przyjęta dawka żelaza mieści się w przedziale 20-60 mg/kg masy ciała. Uważa się je za niewielkie i zwykle niewymagające interwencji, gdy dawka ta nie przekracza 20 mg/kg masy ciała [2].

Opisane wyżej objawy dotyczą ostrego zatrucia u dzieci bardzo wysoką dawką żelaza, przy której zwykle funkcjonujące mechanizmy obronne organizmu, przystosowane do przeciętnego, wielokrotnie niższego narażenia są zawodne. Analogiczne zmiany u osób dorosłych bywały sporadycznie obserwowane przy narażeniu wynoszącym ok. 200-250 mg/kg masy ciała, co odpowiada jednorazowej dawce doustnej kilkunastu gramów żelaza [7,8].

Powyższe przykłady dowodzą możliwości działania toksycznego żelaza przyjętego drogą doustną, odnoszą się one jednak do szczególnych warunków ostrego zatrucia skrajnie wysokimi dawkami. Poziomy żelaza stwierdzone w środkach spożywczych oraz w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, w których jest on naturalnym składnikiem, są wielokrotnie od nich niższe. Nie wykazano, aby ilości żelaza zawarte w żywności i wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, także gdy wielokrotnie przekraczają one wartość parametryczną, mogły stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi [8,9]. W tym ostatnim przypadku istotne znaczenie ma negatywny wpływ podwyższonych stężeń żelaza na wizualną ocenę wody i jej smak, co sprawia, że woda staje się całkowicie nieakceptowalna dla konsumentów, gdy poziomy żelaza są wielokrotnie niższe od mogących oddziaływać toksycznie.

Możliwość toksycznego działania żelaza przy sztucznie zwiększonej jego podaży zwróciła natomiast uwagę badaczy z uwagi na rozpowszechnienie suplementacji żelaza za pomocą różnorodnych środków doustnych, szczególnie wśród dzieci oraz wśród kobiet w wieku rozrodczym. Stosowane w tym celu suplementy zawierają różnorodne związki żelaza i zróżnicowane ich dawki. Opublikowano ostatnio wyniki kilku prac, analizujących wyniki profilaktycznej suplementacji żelaza u niemowląt i małych dzieci, w których stwierdzano zaburzenia wzrostu i przyrostu masy ciała, zwiększoną częstość chorób przebiegających z ostrymi biegunkami, interakcje z innymi mikroelementami, głównie cynkiem i miedzią, zaburzenia mikroflory bakteryjnej przewodu pokarmowego ze zwiększonym udziałem szczepów patogennych, podwyższone markery stanu zapalnego, opóźnienie rozwoju psychoruchowego [4]. Obserwacje te wymagają potwierdzenia w kontrolowanych badaniach większych grup ludności. Należy podkreślić, że opisywane zmiany dotyczą dzieci przyjmujących doustnie preparaty farmakologiczne żelaza, zawierające dawki co najmniej kilka razy przewyższające typowe dobowe spożycie żelaza, stąd też stwierdzanych zmian nie można wiązać z narażeniem na żelazo poprzez wodę do picia i żywność.

Opisane powyżej przypadki toksycznego działania żelaza wiążą się z przyjmowaniem nadmiernych ilości związków żelaza w postaci preparatów chemicznych lub farmaceutycznych. W formie przewlekłej mogą być jednak także wynikiem licznych transfuzji krwi (masy erytrocytarnej), wielokrotnie powtarzanych przez długi czas, niekiedy całe życie od wczesnego dzieciństwa, jak w przypadku talasemii beta, choroby Diamonda-Blackfana (genetycznie uwarunkowane zaburzenie erytropoezy) czy w zespołach mielodysplastycznych. Zaburzenia wywołane powtarzanymi transfuzjami krwi należą do tzw. nabytych zespołów przeładowania żelazem, w których znaczne ilości żelaza systematycznie uwalniane z rozpadłych erytrocytów przekraczają możliwości adaptacyjne organizmu i ulegają kumulacji w narządach wewnętrznych.



Do nadmiernego gromadzenia żelaza w narządach mięszzowych i zaburzeń ich czynności dochodzi także w wyniku genetycznie uwarunkowanych zaburzeń w gospodarce żelazem, określanych mianem hemochromatozy. Wyróżnia się obecnie 4 postaci tej choroby, wszystkie dziedziczone autosomalnie recesywnie, spowodowane mutacją genów kodujących białek biorących udział w metabolizmie żelaza i jego regulacji (mutacja genów białek: (1) HFE, odpowiedzialnego za regulację produkcji hepcydyny – ok. 80% przypadków hemochromatozy; (2) receptora transferyny typu 2; (3) hepcydyny, (4) hemojuweliny). Kliniczne objawy choroby ujawniają się między 40. a 60. rokiem życia, u kobiet z reguły w późniejszym wieku. Obejmują one cukrzycę (uszkodzenie trzustki przez odkładające się złogi żelaza), marskość wątroby oraz brązowe przebarwienie skóry, również wynikające z odkładania się żelaza w jej obrębie. Towarzyszyć im mogą rozwijające się w tym samym mechanizmie endokrynopatie oraz uszkodzenie mięśnia sercowego. We wszystkich tych przypadkach powodem zmian są genetycznie uwarunkowane zakłócenia metabolizmu żelaza w organizmie, a nie spożycie żelaza z artykułami żywnościowymi i z wodą przeznaczoną do spożycia przez ludzi. Nie wykazano też, aby żelazo przyjmowane doustnie wykazywało właściwości teratogenne ani rakotwórcze dla człowieka [8,9].



## **IV. PODWYŻSZONE STĘŻENIE ŻELAZA W WODZIE PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI – ZNACZENIE DLA STANU ZDROWIA LUDZI, OCENY SENSORYCZNEJ WODY I JEJ AKCEPTOWALNOŚCI**

Biorąc pod uwagę przytoczone powyżej dane, w tym znaczenie żelaza w procesach metabolicznych, wielkość dobowego zapotrzebowania oraz kontrolę wchłaniania żelaza i ograniczenia w przyswajaniu żelaza, szczególnie niehemowego, należy stwierdzić, że ilości żelaza przyjmowane wraz z wodą do picia, nawet gdy wielokrotnie przewyższają wartość parametryczną, przyczyniają się do zwiększenia obciążenia organizmu żelazem w nikłym stopniu i nie stwarzają istotnego ryzyka szkodliwego wpływu na zdrowie. Dotyczy to także przypadków, gdy znaczna zawartość żelaza prowadzi do wyraźnego wzrostu barwy i mętności wody oraz odczuwalnej zmiany jej smaku.

Pogląd ten jest tak ugruntowany, że niewiele prac badawczych poświęca się tej tematyce, uznając tę kwestię za wyjaśnioną. Jedną z nielicznych jest praca autorów litewskich, analizująca wpływ spożycia wody o podwyższonej zawartości żelaza i manganu na wynik ciąży i porodu. Nie stwierdzono w niej zależności między wartościami stężeń obu pierwiastków w wodzie do picia a przedwczesnym porodem, zaobserwowano natomiast możliwy związek między poziomem żelaza i manganu w wodzie a niską urodzeniową masą ciała noworodków [3]. Znaczenie pracy zmniejsza jednak fakt łącznego występowania podwyższonych stężeń żelaza i manganu, jak również niepełna kontrola i wykluczenie wpływu czynników zakłócających. Z drugiej strony donoszono o przypadkach osób dorosłych, stosujących doustną suplementację żelazem w dawce kilkudziesięciu mg dziennie przez kilka lat bez jakichkolwiek ujemnych następstw dla zdrowia [8,9].

Oceniając ryzyko ewentualnej szkodliwości dla zdrowia ludzi mogącej wynikać z nadmiernego spożycia żelaza Połączony Komitet FAO<sup>1</sup>/WHO ds. Dodatków do Żywności (JECFA<sup>2</sup>) przeprowadził w 1983 r. analizę toksyczności, uwzględniającą obciążenie organizmu żelazem ze wszystkich źródeł środowiskowych, włącznie z wodą do picia, wykluczając jedynie praktycznie nieprzyswajalne tlenki żelaza stosowane jako barwniki spożywcze oraz suplementację żelaza, stosowaną powszechnie przez kobiety ciężarne i karmiące. Na podstawie powyższych badań

1 Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (ang. Food and Agriculture Organization of the United Nations)

2 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)

określono wartość tymczasową tolerowanego dziennego spożycia żelaza jako 0,8 mg/kg/masy ciała. Zakładając dobowe spożycie wody wynoszące 2 l, przeciętną masę ciała osoby dorosłej wynoszącą 60 kg oraz współczynnik alokacji odpowiadający udziałowi wody do picia wśród źródeł żelaza dla organizmu wynoszący 10% (= woda dostarcza ok. 10% przyjmowanego przez organizm w ciągu doby żelaza), **eksperti Światowej Organizacji Zdrowia uznali, że stężenie żelaza w wodzie do picia nieprzekraczające 2 mg/l należy uznać za wolne od ryzyka niepożądanych skutków dla zdrowia.** Zazwyczaj przy znacznie niższych stężeniach żelaza woda staje się nieakceptowalna dla konsumentów z uwagi na wzrost barwy i mętności wody.

Żelazo zawarte w wodach podziemnych występuje najczęściej jako  $Fe^{2+}$ , przy którym jego związki charakteryzują się znaczną rozpuszczalnością w wodzie. Nawet gdy osiągają one znaczne stężenia, mętność wody zwykle nie wykazuje znaczącego wzrostu, a jej barwa pozostaje niska. Utrzymaniu żelaza w tej postaci sprzyjają warunki redukcyjne, często spotykane w wodach podziemnych lub zbiornikach wody. Jednocześnie związki te są w powyższej formie trudne do usunięcia i eliminacji przez filtrację.

W trakcie ujmowania, uzdatniania i dystrybucji wody dochodzi do zmiany warunków utleniająco-redukcyjnych, których skutkiem jest utlenienie żelaza do formy  $Fe^{3+}$ . Związki zawierające żelazo w tej postaci odznaczają się charakterystycznym rdzawo-brunatnym zabarwieniem oraz niską rozpuszczalnością w wodzie, wykazując tendencję do wytrącania się w formie zawiesin i osadów, czemu towarzyszy **wzrost barwy i mętności wody. Nasilenie tego zjawiska zależy nie tylko od stężenia żelaza w wodzie, ale także od przyjmowanego przezeń stopnia utlenienia, na który mają wpływ lokalne warunki oksydoredukcyjne i wartość pH wody. Może więc się zdarzyć, że w wodzie pochodzącej z różnych systemów zaopatrzenia stężenie żelaza jest jednakowe lub różni się nieznacznie, wpływa ono natomiast odmiennie na wskaźniki organoleptyczne wody.** Utrudnia to określenie na tej podstawie wartości parametrycznej, która mogłaby mieć zastosowanie do wszystkich systemów zaopatrzenia. Z oceny empirycznej wynika, że w większości przypadków tolerowaną przez konsumentów granicą jest 300  $\mu\text{g/l}$  (0,3 mg/l), choć wzrost mętności wody wywołany obecnością żelaza niekiedy bywa dostrzegany już w niższych stężeniach, wynoszących nawet 100  $\mu\text{g/l}$  (0,1 mg/l) [8].

Wzrost barwy i mętności wody wywołany zwiększoną zawartością żelaza jest negatywnie odbierany przez konsumentów nie tylko z uwagi na przykre odczucia estetyczne i smakowe przy spożyciu wody, ale także z powodu ograniczenia możliwego wykorzystania wody do innych celów domowych, w tym prania odzieży i zmywania powierzchni. Woda o podwyższonej barwie może



bowiem powodować przebarwienia mających z nią kontakt tkanin i innych materiałów, zmywanych powierzchni oraz urządzeń sanitarnych. Jako graniczne stężenie żelaza, przy którym zjawisko to staje się uchwytne i dokuczliwe dla konsumentów najczęściej wymienia się wartość 300 µg/l (0,3 mg/l) [8,9].

Podwyższone stężenie żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi poza wzrostem barwy i mętności wody powoduje także negatywnie odbierany przez konsumentów metaliczny smak wody. Określenie wartości progowej stężenia żelaza w wodzie, przy którym należy liczyć się z takim efektem jest szczególnie trudne do określenia z uwagi na subiektywny charakter oceny. W badaniu doświadczalnym z zastosowaniem roztworu siarczanu żelazawego w wodzie destylowanej wykazano, że ok. 20% badanych wyczuwa metaliczny smak przy stężeniu 300 µg/l (0,3 mg/l). Jednocześnie 5% osób w badanej grupie sygnalizowało wyczuwalny smak powyższej substancji przy wielokrotnie niższym jej stężeniu w wodzie, wynoszącym 40 µg/l (0,04 mg/l). Na odczucie metalicznego smaku miały również wpływ inne parametry wody służącej jako rozpuszczalnik, co stwierdzono zastępując wodę destylowaną mineralizowaną wodą źródlaną o zawartości substancji mineralnych 500 mg/l, przy której próg wyczuwalności smaku siarczanu żelazawego w grupie najbardziej wrażliwych osób badanych wynosił 120 µg/l (0,12 mg/l) [9]. W innych badaniach, przeprowadzonych z użyciem roztworów związków żelaza w wodzie destylowanej, stwierdzono, że żelazo może wpływać negatywnie na smak wody już w stężeniu 100 µg/l (0,1 mg/l) [9].

**Mimo iż żelazo występujące w wodzie w stężeniach wpływających niekorzystnie na barwę, mętność i smak wody, nie stanowi zagrożenia dla zdrowia ludzi, wymaga jednak działań naprawczych z uwagi na wynikającą stąd nieakceptowalność dla konsumentów wody o takich parametrach. Światowa Organizacja Zdrowia podkreśla, aby przywiązywać należyłą wagę do opinii konsumentów, ponieważ w przypadku braku reakcji na zgłaszane przez nich skargi są oni skłonni zaopatrywać się w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi z innych źródeł, często o niekontrolowanej i nieodpowiedniej jakości, niezapewniającej bezpieczeństwa dla zdrowia mimo korzystniejszych wskaźników organoleptycznych. Skargi konsumentów na nieodpowiednią jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, zgłaszane zarówno do podmiotu realizującego zaopatrzenie w wodę, jak i do organów Państwowej Inspekcji Sanitarnej nie powinny pozostawać niewyjaśnione.**



## **V. PODWYŻSZONE STĘŻENIE ŻELAZA W WODZIE PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI – WPŁYW NA STAN TECHNICZNY SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY**

Niepożądane zmiany w stanie technicznym sieci wodociągowej wynikające z podwyższonej zawartości żelaza w dystrybuowanej wodzie stanowią jeden z najistotniejszych problemów eksploatacyjnych. O ich powstawaniu w dużej mierze decyduje podatność żelaza na występowanie na różnych stopniach utlenienia –  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$ , w zależności od warunków utleniająco-redukcyjnych i pH otoczenia, jak również odmienne właściwości fizyczne obu form, w tym różnice w rozpuszczalności w wodzie.

Głównym problemem jest obserwowana w sieciach dystrybucji wody tendencja do wytrącania się nierozpuszczalnych związków żelaza  $\text{Fe}^{3+}$  w formie osadów na ścianach przewodów i innych elementów sieci wodociągowych. Osady te z czasem twardnieją, a nakładające się stopniowo kolejne ich warstwy mogą znacznie zwęzić światło przewodów wodociągowych, w skrajnych przypadkach aż do jego zamknięcia włącznie. Następstwa tworzenia się powyższych osadów w sieci wodociągowej obejmują:

- wzrost oporów sieci wodociągowej i zmniejszenie przepływu, wymuszające większe zużycie energii przy przesyłce wody,
- rozwój mikroflory bakteryjnej, w szczególności bakterii żelazistych, dla których źródłem energii jest utlenianie żelaza  $\text{Fe}^{2+}$  do  $\text{Fe}^{3+}$ . Bakterie te przyczyniają się do narastania osadów poprzez utlenianie żelaza do form o niskiej rozpuszczalności, a zarazem sprzyjają powstawaniu i narastaniu biofilmu,
- ograniczenie skuteczności dezynfekcji sieci wodociągowej na skutek utrudnionego przenikania środka dezynfekcyjnego do warstw osadów,
- fragmentacja osadów, odrywanie się ich części i przenikanie do przesyłanej wody, czemu towarzyszy gwałtownie następujący znaczny wzrost mętności i barwy wody (skargi konsumentów),
- wzrost stężenia żelaza w wodzie trakcie dystrybucji w sieci wodociągowej.

Następstwem ostatniego z wymienionych zjawisk może być podwyższone stężenie żelaza w wodzie w punkcie zgodności, w wyniku którego dochodzi także do wzrostu barwy i mętności wody, gdy żelazo w wodzie wodociągowej w wyniku kontaktu z powietrzem ulega utlenieniu. Sytuacja

taka może wystąpić mimo zgodnego z wymaganiami stężenia żelaza w punkcie wprowadzania wody do sieci. Wzrost stężenia żelaza w wodzie w trakcie jej dystrybucji może być wynikiem oddziaływania nagromadzonych wcześniej osadów żelazistych, z których żelazo przenika do wody. Istnieją dwa główne powody tego zjawiska:

- fragmentacja/zrywanie osadów, na skutek gwałtownych zmian warunków przepływu w instalacji (ciśnienie, kierunek przepływu, turbulencje, drgania mechaniczne udzielone z otoczenia). Fragmenty nagromadzonych osadów, zawierających żelazo w formie  $\text{Fe}^{3+}$  ulegają oderwaniu, skruszeniu i przenikają do wody, powodując nagły, szybki i znaczny wzrost stężenia żelaza oraz barwy i mętności wody w instalacji. Zmiana jakości wody staje się natychmiast uchwytne w ocenie wizualnej, powodując skargi konsumentów na jakość wody,
- stopniowe rozpuszczanie żelaza zawartego w osadach pod wpływem wnikających do wody substancji o działaniu zakwaszającym lub stwarzających warunki redukcyjne oraz spadek stężenia tlenu rozpuszczonego. Umożliwia to redukcję żelaza w osadach do formy  $\text{Fe}^{2+}$ , charakteryzującej się wysoką rozpuszczalnością. Żelazo przenika do wody w warunkach stabilnego przepływu, proces ma równomierne nasilenie w czasie, a stężenia żelaza nie ulegają znacznym okresowym wahaniom. Podwyższonym wartościom stężeń żelaza nie towarzyszy wzrost mętności wody, choć może on wystąpić w punkcie czerpalnym – w wyniku kontaktu z powietrzem i przejściem żelaza w formę  $\text{Fe}^{3+}$ .

Ochrona systemu dystrybucji wody przed odkładaniem się osadów żelaza jest jednym z głównych powodów objęcia kontrolą tego parametru w wodzie przeznaczony do spożycia i określenia w odnośnych regulacjach prawnych wartości parametrycznej tego wskaźnika.

Odrębny problem stanowi przenikanie do wody żelaza z ulegających korozji elementów systemu dystrybucji wody, wykonanych ze stali węglowej i żeliwa bez skutecznego zabezpieczenia antykorozyjnego. Może ono również być powodem podwyższonych stężeń żelaza w wodzie, prowadzących do wzrostu barwy i mętności wody, budzących zastrzeżenia konsumentów. Równolegle korozja elementów konstrukcji sieci wodociągowych może przyczyniać się do ich zwiększonej awaryjności i w ten sposób również zwiększać ryzyko wtórnego zanieczyszczenia wody.

## **VI. ZNACZENIE PODWYŻSZONYCH STĘŻEŃ ŻELAZA W WODZIE PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI – W ŚWIETLE POSTANOWIEŃ DYREKTYWY RADY 98/83/WE Z DNIA 3 LISTOPADA 1998 R. W SPRAWIE JAKOŚCI WODY PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI, PRZEPISÓW ROZPORZĄDZENIA MINISTRA ZDROWIA Z DNIA 7 GRUDNIA 2017 R. W SPRAWIE JAKOŚCI WODY PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI ORAZ ZALECEŃ ŚWIATOWEJ ORGANIZACJI ZDROWIA (WHO)**

W dyrektywie Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1988 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi żelazo zostało ujęte w Załączniku I Część C, grupującym parametry nie odnoszące się bezpośrednio do bezpieczeństwa wody dla zdrowia ludzi. Wartość parametryczna żelaza została określona na poziomie – 200 µg/l – w celu ochrony przed niepożądanymi zmianami organoleptycznymi wody oraz dla utrzymania w należyтым stanie technicznym systemu dystrybucji wody.

Dotrzymanie wartości parametrycznej w znacznym stopniu ogranicza też ryzyko tworzenia się osadów nierozpuszczalnych związków żelaza w systemie wodociągowym i wynikającego stąd wtórnego zanieczyszczenia wody w trakcie dystrybucji. Zaliczenie żelaza do parametrów nie mających bezpośredniego znaczenia dla bezpieczeństwa wody dla zdrowia ludzi nie wiąże się z określoną obligatoryjną procedurą i kryteriami postępowania w przypadku przekroczenia wartości parametrycznej. Dyrektywa przewiduje w takim przypadku dokonanie przez właściwe organy oceny, czy niezgodność z wartością określoną w dyrektywie wiąże się z zagrożeniem dla zdrowia ludzi i oparcie na tym ustaleniu dalszego postępowania.

Częstotliwość badania tego parametru zgodnie z dyrektywą Komisji (UE) 2015/1787 z dnia 6 października 2015 r. zmieniającą załączniki II oraz III do dyrektywy Rady 98/83/WE w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi ulega zwiększeniu w przypadku stosowania żelaza i jego związków do uzdatniania wody.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi uwzględnia w odniesieniu do żelaza regulacje zawarte w dyrektywie

Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczony do spożycia przez ludzi poprzez:

- uwzględnienie żelaza w ocenie jakości wody i przyjęcie analogicznej wartości parametrycznej – 200 µg/l,
- zaliczenie żelaza do parametrów niemających bezpośredniego znaczenia dla bezpieczeństwa wody dla zdrowia ludzi (parametr zamieszczony w tabeli 2 Części C załącznika nr 1 do rozporządzenia),
- zaliczenie żelaza do parametrów grupy A wymagających monitorowania z większą częstotliwością tylko w przypadkach, gdy w uzdatnianiu wody stosowane są chemikalia na bazie żelaza, w pozostałych przypadkach (w tym żelaza występującego jako zanieczyszczenie naturalnego pochodzenia) przewidziano włączenie żelaza do parametrów grupy B.

Eksperti WHO analizując znaczenie zdrowotne żelaza w wodzie przeznaczony do spożycia przez ludzi stwierdzili, że nie zachodzi obawa co do szkodliwości dla zdrowia stężeń żelaza mogących występować w wodzie, także w przypadku, gdy osiągają one poziomy niekorzystnie wpływające na barwę, mętność i smak wody [9]. Opinia ta oparta jest w dużej mierze na przytoczonym wyżej stanowisku JECFA, w którym wykazano, że wartości stężeń żelaza w wodzie nie przekraczające 200 µg/l (2 mg/l) nie niosą ze sobą takiego zagrożenia. Dodatkowym czynnikiem zmniejszającym jego ryzyko jest obserwowany już przy znacznie niższych wartościach stężeń żelaza w wodzie wzrost barwy i mętności wody oraz jej metaliczny smak. Zmiany te przybierają już przy niższych stężeniach żelaza tak znaczne nasilenie, że skutecznie zniechęcają konsumentów do wykorzystywania wody do celów spożywczych, natomiast poziomy żelaza, przy których wskaźniki powyższe są tolerowane, są z reguły znacznie niższe niż sięgające 200 µg/l (2 mg/l) wartości określane jako bezpieczne dla zdrowia. Toksyczne efekty żelaza przy narażeniu drogą doustną obserwowano w wyniku przypadkowego spożycia bardzo znacznej jego ilości, przy których przełamane są fizjologiczne mechanizmy chroniące organizm przed wchłanianiem nadmiernych ilości żelaza z przewodu pokarmowego. Nie wykazano natomiast, aby wielokrotnie niższe poziomy żelaza zawarte w żywności i wodzie przeznaczony do spożycia przez ludzi mogły stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi. W związku z tym nie uznano za celowe określania dopuszczalnej ani zalecanej wartości stężeń żelaza w wodzie, uzasadnionej bezpieczeństwem wody dla zdrowia ludzi [8,9].

## PODSUMOWANIE

- Podwyższone stężenie żelaza występujące w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, nawet jeśli prowadzi do niepożądanych zmian organoleptycznych wody, jak wzrost barwy i mętności, metaliczny smak, oraz do formowania się osadów żelazistych w sieci wodociągowej nie wiąże się z bezpośrednią szkodliwością dla zdrowia ludzi. Nie wykazano, aby spożycie żelaza zawartego w żywności i wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi mogło wywierać szkodliwy wpływ na zdrowie ludzi, także wtedy, gdy zawartość żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi znacznie przekracza wartości optymalne, zalecane z uwagi na ich znaczenie dla barwy i mętności wody oraz wpływ na stan urządzeń wodociągowych.
- Przypadki toksycznego działania żelaza wiążą się z przyjmowaniem nadmiernych ilości soli żelaza w postaci preparatów chemicznych lub farmaceutycznych, albo też są wynikiem wielokrotnie powtarzanych transfuzji krwi (masy erytrocytarnej) lub genetycznie uwarunkowanych zaburzeń w gospodarce żelazem.
- Żelazo występujące w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi w nadmiernych ilościach w warunkach panujących w systemach dystrybucji wody wykazuje tendencję do wytrącania się w formie trudno rozpuszczalnych osadów o rdzawo-brunatnej barwie. Powoduje to budzący zastrzeżenia konsumentów wzrost barwy i mętności wody oraz jej metaliczny smak. Niezadowolenie konsumentów budzi też pojawiające się wtedy przebarwienie ceramiki sanitarnej, pranych tkanin, powierzchni zmywanych wodą, jak również zmiana smaku wody oraz napojów i potraw przygotowywanych z jej dodatkiem. Zmiany te stają się w istotny sposób uciążliwe dla konsumentów zwykle z chwilą, gdy stężenie żelaza w wodzie przekracza wartość 300 µg/l (0,3 mg/l). **Osady żelaza, wytrącające się z wody na ścianach przewodów wodociągowych i ulegające z czasem twardnieniu, utrudniają właściwą eksploatację systemu zaopatrzenia w wodę, stając się przyczyną spadku ciśnienia wody, awarii, a nawet pogorszenia jakości mikrobiologicznej wody.**
- Z uwagi na niepożądany wpływ podwyższonych stężeń żelaza na ocenę sensoryczną wody, związane z tym ograniczenia w wykorzystaniu wody do celów domowych/gospodarczych (przebarwienia pranej odzieży, ceramiki sanitarnej i zmywanych powierzchni) oraz opisane wyżej problemy eksploatacyjne sieci wodociągowej, należy zdecydowanie dążyć do trwałego



i skutecznego obniżenia stężeń żelaza w wodzie do poziomu zgodnego z określonym w regulacjach prawnych. Im wyższe stężenie żelaza w wodzie, im większa dobową produkcją wody, im większe zastrzeżenia konsumentów co do organoleptycznej jakości wody, w tym krótszym czasie cel ten powinien być osiągnięty, pozwalając na zmniejszenie nasilenia niepożądanych zmian w systemie dystrybucji wody. Działania naprawcze nie powinny więc być nadmiernie przedłużane. Optymalnie powinny być one przeprowadzone w czasie nie dłuższym niż 5 lat, w uzasadnionych przypadkach czas ten może ulec wydłużeniu do lat 10 (12). Zasada ta powinna być stosowana szczególnie elastycznie w stosunku do najmniejszych wodociągów, w których możliwości kontrolowanego uzdatniania wody są najbardziej ograniczone.

## PIŚMIENNICTWO

1. Artym J: Udział laktoferyny w gospodarce żelazem w organizmie. Wpływ laktoferyny na wchłanianie, transport i magazynowanie żelaza w organizmie. *Postępy Hig Med. Dosw*, 2008, 62, 599-611.
2. Baranwal AK, Singhi SC: Acute iron poisoning. *Indian Pediatrics*, 2003, 40, 534-540.
3. Grazuleviciene R et al: Effect of elevated levels of manganese and iron in drinking water on birth outcomes. *Polish J Environ Stud*, 2009, 18 (5), 819-825.
4. Lonnerdal B.: Excess iron intake as a factor for growth, infections and development of infants and young children. *Am J Clin Nutr*, 2017, 106 (Suppl 6), 1681S-1687S, doi: 10.3945/ajcn.1178.156042.
5. Macioszczyk A: *Podstawy hydrogeologii stosowanej*. PWN, 2006.
6. Milman N, Clausen J, Byg K-E. Iron status in 268 Danish women aged 18-30 years. Influence of menstruation, method of contraception, and iron supplementation. *Ann Hematol* 1998;76:13-19.
7. Stanowisko zespołu Ekspertów PTG w sprawie profilaktyki niedoboru żelaza oraz niedokrwistości z niedoboru żelaza niską dawką żelaza hemowego u kobiet – stan wiedzy na 2013 rok. *Ginekol. Poł.*, 2014, 85, 74-78.
8. *Iron in drinking water*. Health Canada, 1987.
9. WHO Guidelines on drinking water quality. 4 ed. incorporating the 1st addendum. WHO, Geneva, 2017. Iron in drinking water. Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/08. Health criteria and other supporting information. WHO, Geneva, 1996.



## ZAŁĄCZNIKI

W załącznikach do niniejszego opracowania zawarto propozycje działań oraz komunikatów w przypadku stwierdzenia w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi przekroczeń wartości parametrycznej dla żelaza.

Należy jednakże podkreślić, że ewentualne podjęcie działań zgodnie z propozycjami zawartymi w niniejszym opracowaniu, w przypadku stwierdzenia przekroczenia w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi wartości parametrycznej dla żelaza **každorazowo wymaga uzgodnienia z właściwym państwowym inspektorem sanitarnym.**

## PRZEKROCZENIE WARTOŚCI PARAMETRYCZNEJ STĘŻENIA ŻELAZA W WODZIE – ZASADY POSTĘPOWANIA

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi w przypadku przekroczenia wartości parametrycznej żelaza przewiduje możliwość stwierdzenia przez właściwego państwowego inspektora sanitarnego warunkowej przydatności wody do spożycia i utrzymania zaopatrzenia w wodę przy dopełnieniu następujących czynności:

- określenie terminu trwania przekroczenia i dopuszczalnych wartości parametrycznych w tym czasie,
- ustalenie z podmiotem realizującym zaopatrzenie w wodę zakresu i terminu realizacji działań naprawczych, mających na celu przywrócenie należytej jakości wody,
- poinformowanie właściwego wójta (burmistrza, prezydenta miasta) o stwierdzeniu warunkowej przydatności wody do spożycia oraz wydanych zaleceniach dotyczących korzystania z wody lub ograniczeniach, jakim to korzystanie powinno podlegać.

Wójt (burmistrz, prezydent miasta) informuje mieszkańców o jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi – do jego zadań należy m.in. rozpowszechnianie komunikatów opracowywanych przez właściwego państwowego powiatowego lub państwowego granicznego inspektora sanitarnego, zawierających informacje o jakości wody w przypadku m.in. stwierdzenia warunkowej przydatności wody do spożycia wraz z informacją o zaleceniach i ewentualnych ograniczeniach jej wykorzystania.

Komunikaty rozpowszechniane są w sposób umożliwiający bezzwłoczne zapoznanie się z nimi przez konsumentów z obszaru, dla którego wydano komunikat.

**Warunkową przydatność wody do spożycia** należy stwierdzać w przypadku, gdy przyjęte działania naprawcze – w celu przywrócenia należytej jakości dostarczanej wody – **nie są wystarczające** do osiągnięcia wartości parametrycznych, określonych dla tych parametrów w rozporządzeniu Ministra Zdrowia, **w terminie 30 dni liczonych od dnia otrzymania sprawozdania z badań**. Należy jednocześnie nadmienić iż, **w uzasadnionych przypadkach, po uzyskaniu zgody właściwego państwowego inspektora sanitarnego, termin ten może zostać wydłu-**



**żony do 60 dni.** Jest to termin pozwalający na prowadzenie działań naprawczych, wykonanie kolejnych badań jakości wody. Dopiero w przypadku braku w ww. terminie doprowadzenia wody do należytej jakości, właściwy państwowy inspektor sanitarny stwierdza warunkową przydatność wody do spożycia, określając termin trwania przekroczenia oraz dopuszczalną wartość parametryczną, jaką w tym czasie może osiągać dany parametr.

Powyższa regulacja ma zastosowanie tylko w przypadku uznania przez właściwego państwowego inspektora sanitarnego, że stwierdzona niezgodność nie stwarza zagrożenia dla zdrowia, tj. w sytuacji gdy wartość przekroczenia pozwala na zachowanie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów, a ich dopuszczalność została potwierdzona w aktualnych opracowaniach naukowych.

Postępowanie powyższe należy podjąć wtedy, gdy brak jest możliwości stałego realizowania zaopatrzenia w wodę z innych źródeł, o jakości zgodnej z określoną w przepisach prawnych.

Procedurę należy rozpocząć **od ustalenia, czy ze stwierdzonymi poziomami żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi nie wiąże się potencjalne zagrożenie dla zdrowia.** Decydują o tym przede wszystkim wartości stężeń żelaza w wodzie i stopień przekroczenia wartości parametrycznej, ale także pochodzenie żelaza przenikającego do wody i skala wtórnych zmian w systemie wodociągowym, rozwijających się w wyniku podwyższonej zawartości żelaza w wodzie. Z przytoczonego wyżej stanowiska JECFA i WHO wynika, że stężenia żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi nieprzekraczające 2000 µg/l, czyli znaczna większość przypadków przekroczeń wartości parametrycznej żelaza, nie stwarza zagrożenia dla zdrowia ludzi. **Możliwości takiej nie można jednak uznać za z góry wykluczoną w każdym przypadku, szczególnie jeśli wykorzystanie gruntów w okolicy ujęcia stwarza możliwość przeniknięcia do wód zanieczyszczeń, w przypadku ujęć zlokalizowanych na terenach składowisk odpadów górniczych, zakładów chemicznych, zakładów wzbogacania rud, także w sąsiedztwie byłych kopalni.** W ocenie pomocna jest:

- ocena hydrologiczna, a w ujęciach podziemnych – ocena hydrogeologiczna ujęcia wody, w szczególności możliwość przenikania zanieczyszczeń do warstw wodonośnych,
- informacja dotycząca ustanowienia strefy ochronnej ujęcia wody obejmującej teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej oraz wykorzystania gruntów w jego sąsiedztwie, z uwzględnieniem możliwych źródeł zanieczyszczenia wód lub analizy ryzyka wskazującej na brak konieczności ustanawiania dla danego ujęcia wody strefy ochronnej obejmującej teren ochrony pośredniej,

- dane objęte oceną ryzyka, o ile została ona przeprowadzona, wskazujące na możliwość zewnętrznych i antropogennych źródeł zanieczyszczenia wody,
- wynik badania wody wprowadzanej do sieci dystrybucyjnej (optymalnie także wody ujmowanej), mogący wskazywać na występowanie innych zanieczyszczeń:
  - zapach – charakterystyczny „żelazisty” zapach może towarzyszyć występowaniu związków żelaza w formie  $\text{Fe}^{2+}$ , przy której mogą osiągać znaczne stężenie bez jednoczesnego wyraźnego wzrostu barwy i mętności wody,
  - smak – metaliczny przy podwyższonych stężeniach żelaza,
  - barwa – może być podwyższona zwłaszcza w przypadku występowania żelaza na trzecim stopniu utleniania  $\text{Fe}^{3+}$ ,
  - mętność – jak wyżej; wymaga jednak zawsze – przynajmniej na etapie rozpoznawania problemu jakości wody i oceny zagrożenia dla zdrowia ludzi – wykluczenia skażenia mikrobiologicznego wody, niezależnie od rodzaju wody ujmowanej (*E. coli*, enterokoki, bakterie grupy coli, ogólna liczba mikroorganizmów w temp. 22°C).

**Wszystkie cztery powyższe parametry – zapach, smak, barwa i mętność – mają decydujące znaczenie w ocenie akceptowalności wody przez konsumentów. Pozwalają stwierdzić, w jakim stopniu podwyższone poziomy żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi wpływają na ocenę jej jakości przez konsumentów i czy będą przez nich tolerowane,**

- ogólny węgiel organiczny (OWO),
- przewodność elektryczna – ogólny wskaźnik mineralizacji i zanieczyszczenia wody,
- pH – niskie wartości pH wody sprzyjają występowaniu związków żelaza w formie  $\text{Fe}^{2+}$  o znacznej rozpuszczalności w wodzie, niekiedy także łągowaniu żelaza z substancji mineralnych i ich przenikaniu do wody,
- jon amonu – sprzyja deficytowi tlenu w wodzie i tym samym występowaniu żelaza w formie  $\text{Fe}^{2+}$ , może występować jako składnik geogeny wody z ujęć podziemnych, ale także wskazywać na doptyw ścieków,
- mangan – częsty składnik utworów geologicznych, w skład których wchodzi także żelazo, łącznie z nim przenikający do wody. Podwyższone stężenie obu parametrów wskazuje na ich geogenne źródło; częsta sytuacja w wielu ujęciach wód podziemnych,
- ołów, kadm, siarczany, chlorki – w przypadku ujęć zlokalizowanych na terenach górniczych, w pobliżu składowisk odpadów górniczych.

**UWAGA: Powyższy zakres badań zalecany jest w przypadku podwyższonych stężeń żelaza (geogenicznego pochodzenia) w wodzie i jest pomocny przy stwierdzaniu warunkowej przydatności wody do spożycia przez ludzi.**

Powyższe dane analizowane łącznie pozwalają ocenić źródło pochodzenia podwyższonych stężeń żelaza w wodzie ujmowanej i zidentyfikować przypadki, w których mogą one być wynikiem zanieczyszczeń antropogennych. Sytuacje takie nie są częste, a najbardziej rozpowszechnionym powodem znacznej zawartości żelaza jest jego przenikanie z utworów geologicznych do wód podziemnych, chronionych przez nieprzepuszczalne warstwy przed infiltracją zanieczyszczeń z powierzchni ziemi i warstw podpowierzchniowych. W efekcie w wodach takich podwyższone stężenie żelaza na ogół nie wiąże się z ryzykiem występowania innych (poza manganem) zanieczyszczeń, w szczególności mikrobiologicznych.

W wodach z ujęć powierzchniowych podwyższone stężenie żelaza bywa stwierdzane rzadko, ponieważ większa w porównaniu z wodami podziemnymi zawartość tlenu rozpuszczonego sprawia, że przeważa w nich trudno rozpuszczalna w wodzie postać żelaza o wyższym stopniu utlenienia  $Fe^{3+}$ . Sprzyja to wytrącaniu się związków żelaza z wody i gromadzeniu się ich w osadach dennych, co eliminuje je z ujmowanej i uzdatnianej wody. Specyficznym powodem podwyższonych stężeń żelaza w wodzie z ujęć powierzchniowych może być natomiast stosowanie związków żelaza jako koagulantów w procesie uzdatniania wody z następowym niepełnym ich usunięciem. W takim przypadku stężenie żelaza w wodzie ujmowanej jest zwykle niskie, natomiast wzrost jego stężenia stwierdza się w wodzie wprowadzanej do sieci.

Niezależnie od rodzaju ujęcia wody, ustalanie przyczyny podwyższonych stężeń żelaza w wodzie i ocena związanych z tym potencjalnych następstw dla zdrowia ludzi powinny skłaniać do prześledzenia wartości tego parametru na poszczególnych etapach ujmowania i dystrybucji wody:

- w wodzie ujmowanej – mimo iż nie jest to punkt zgodności, stwierdzenie podwyższonych stężeń żelaza dostarcza informacji o możliwej przyczynie ich występowania, skali problemu i ewentualnych zanieczyszczeniach towarzyszących,
- w punkcie wprowadzania wody do sieci – ocena wartości stężeń żelaza bliższych realnemu narażeniu konsumentów, a przede wszystkim – skuteczności odżelaziania wody, o ile jest ono stosowane,
- w punktach zlokalizowanych na sieci dystrybucji – pozwala na ocenę wpływu warunków panujących w sieci na poziomy żelaza w wodzie: korozji elementów stalowych i żeliwnych, osadów trudno rozpuszczalnych, związków żelaza na wewnętrznej powierzchni urządzeń wodociągowych,
- w punktach zgodności oraz ewentualnie w wybranych punktach czerpalnych u konsumentów – ocena wpływu stężeń żelaza na parametry organoleptyczne wody i zmian jakości wody w trakcie jej dystrybucji.

W powyższej ocenie należy wziąć pod uwagę także zmienność stężeń żelaza i zakres stwierdzanych wartości, jeśli podwyższona zawartość żelaza w wodzie utrzymywała się od dłuższego czasu i dostępne są dane z tego okresu.

**Oceniając wpływ podwyższonych stężeń żelaza w wodzie na jej bezpieczeństwo dla zdrowia ludzi, należy jednocześnie wziąć pod uwagę ryzyko wynikające z niekorzystnych zmian technicznych w systemie dystrybucji wody i będących ich wynikiem wtórnych zmian jakości wody.**

Do zmian takich prowadzi przede wszystkim wytrącanie się trudno rozpuszczalnych związków żelaza (zawierających żelazo w formie  $\text{Fe}^{3+}$ ) w formie zestalonych lub mazistych osadów na wewnętrznej powierzchni przewodów wodociągowych, powodujące zwężenia światła rur wodociągowych. **Wymusza to tłoczenie wody pod większym ciśnieniem, co z kolei sprzyja pojawieniu się awarii, nieszczelności i wycieków wody, zwiększając ryzyko jej zanieczyszczenia mikrobiologicznego.** Osady związków żelaza tworzą też środowisko sprzyjające namnażaniu się bakterii żelazistych, uzyskujących potrzebną do procesów życiowych energię poprzez utlenianie zawartego w wodzie żelaza, a bakterie te przenikając do wody powodują pogorszenie jej jakości mikrobiologicznej. Osady żelaziste mogą być także powodem przenikania do wody zdeponowanego w nich żelaza. Proces ten może przebiegać gwałtownie, kiedy w wyniku miejscowych zmian warunków przepływu i ciśnienia w instalacji dochodzi do fragmentacji i zerwania osadów, których duże ilości zostają uwolnione do wody, powodując krótkotrwałe, lecz znaczny wzrost stężenia żelaza z towarzyszącym wzrostem mętności i barwy wody. Może też dochodzić do powolnego, stałego przenikania żelaza z osadów do przesyłanej wody i stopniowego wzrostu stężeń żelaza w wodzie mogącego nakładać się na uprzednio już podwyższone jego poziomy. Tak więc mimo iż podwyższona zawartość żelaza w wodzie, w stężeniach akceptowalnych przez konsumentów, nie zagraża zdrowiu ludzi, oceny w tym zakresie wymagają, także związane z tym, inne zmiany jakości wody i stan urządzeń wodociągowych. Celowe jest uwzględnienie w analizie danych informacji dotyczących awarii w danym systemie wodociągowym – ich liczby, częstości, przyczyn, stwierdzenia podczas działań naprawczych występowania osadów w sieci wodociągowej i skali tego zjawiska.

Należy pamiętać także, że nieakceptowane przez konsumentów wskaźniki organoleptyczne wody wynikające z podwyższonych stężeń żelaza mogą skłaniać ich do korzystania z wody z innych źródeł, które nie są objęte kontrolą, a jakość pochodzącej z nich wody może stanowić rzeczywiste zagrożenie dla zdrowia ludzi, na przykład w wyniku skażenia mikrobiologicznego.

**Kolejny etap stanowi określenie dopuszczalnej wartości parametrycznej podczas warunkowej przydatności wody do spożycia oraz czasu jej trwania.**

Obie powyższe kwestie są ze sobą powiązane, a decyzje podejmowane w tym zakresie muszą opierać się na:

- **stwierdzonych wartościach stężeń żelaza oraz parametrów organoleptycznych wody w punkcie wprowadzania wody do sieci, w wodzie w systemie dystrybucji i w punkcie zgodności.** Wyniki oznaczenia powyższych parametrów w wodzie po uzdatnieniu, w miejscu wprowadzania wody do sieci dystrybucyjnej – pozwalają ocenić skuteczność uzdatniania wody. Parametry te wymagają również oceny w wodzie z sieci wodociągowej. Spośród parametrów organoleptycznych szczególne znaczenie ma barwa i mętność, będące stosunkowo czułymi wskaźnikami występowania podwyższonych stężeń żelaza, a zarazem uchodzące za bardziej obiektywne w ocenie w porównaniu z zapachem i smakiem,
- analizie stwierdzonych wartości stężeń żelaza w wodzie powinna uwzględniać także ich zmienność, zakres wahań, minimalne i maksymalne wartości oraz ewentualnie trend czasowy – o ile dane takie są dostępne. Tam, gdzie danych takich brak, ocena z konieczności musi być ograniczona do aktualnych wyników, jednak w wielu małych wodociągach podwyższone stężenie żelaza w wodzie utrzymuje się od kilku lub kilkunastu lat i sięgnięcie do danych z przeszłości jest możliwe. Wartość parametryczna dopuszczalna w czasie warunkowej przydatności wody do spożycia powinna w zależności od wahań stwierdzanych maksymalnych poziomów przewyższać je o około 10-30% (orientacyjnie), aby nie dochodziło do jej przekroczenia – ocenie wpływu podwyższonych stężeń żelaza na wskaźniki organoleptyczne wody
- akceptowalność wody przez konsumentów (przyjęte wartości dla tego parametru powinny być akceptowalne przez konsumentów i nie budzić ich zasadniczych zastrzeżeń),
- analizie skarg zgłaszanych przez konsumentów na jakość wody (liczba, przedmiot skarg, tendencje w czasie). Badania wody wykonywane okresowo mogą nie ujawniać wszystkich problemów z jakością wody, jakich doświadczają konsumenci,
- występowaniu awarii sieci wodociągowej (liczba, powody, tendencje w czasie i przestrzeni, występowanie i nasilenie osadów żelazistych, stwierdzone podczas usuwania awarii oraz niewystępowaniu znaczących zakłóceń stanu sanitarnego i technicznego systemu wodociągowego, zwłaszcza niestwarzaniu zagrożenia dla utrzymania ciągłości dostaw wody ani wzrostu jego awaryjności.

Ustalone na czas warunkowej przydatności wody do spożycia akceptowalne wartości stężeń żelaza nie powinny wiązać się ze znacznym wzrostem wskaźników organoleptycznych wody, który w odczuciu konsumentów byłby nieakceptowalny ani stwarzać niekorzystnych warunków



eksploatacji systemu dystrybucji wody przez znaczne zagrożenie formowaniem się osadów nierozpuszczalnych związków żelaza w systemie dystrybucji wody.

**Ogólnie biorąc, im wyższe wartości stężeń żelaza w wodzie i w im większym stopniu przekraczają one wartość parametryczną, jak również w im większym stopniu zaznacza się ich niekorzystny wpływ na wskaźniki organoleptyczne wody, stan techniczny wodociągu i wynikające stąd wtórne zmiany jakości wody, tym krótszy czas powinna obejmować warunkowa przydatność wody do spożycia.** W ocenie należy też wziąć pod uwagę wielkość dobowej produkcji wody – im jest większa tym, czas ten powinien być krótszy. Powinien on być jednak zarazem określony realistycznie, przy wzięciu pod uwagę praktycznych możliwości działań naprawczych w rozpatrywanym systemie zaopatrzenia w wodę i szeregu lokalnych uwarunkowań, w tym lokalizacji na zaopatrywanym terenie obiektów, dla których odpowiednia jakość wody przeznaczonej do spożycia ma szczególne znaczenie oraz ewentualnych możliwości zaopatrzenia w wodę z innych źródeł.

Najmniej wątpliwości budzi sytuacja, w której wartości stężeń **żelaza nie przekraczają 300 µg/l**. Nie dochodzi wtedy przeważnie do wyraźnego wzrostu barwy i mętności wody, budzącego zastrzeżenia konsumentów ani wystąpienia jej metalicznego posmaku, nie występuje też na ogół problem przebarwienia pranej odzieży, ceramiki sanitarnej oraz innych przedmiotów użytku i powierzchni mających styczność z wodą. Mimo że stężenia żelaza sięgające tego poziomu są niekorzystne/niepożądane z punktu widzenia zagrożenia osadami żelaza w sieci dystrybucji i związanym z tym wtórnym zanieczyszczeniem wody, ryzyko ich znacznego nasilenia jest niewielkie i najczęściej możliwe jest tolerowanie takich poziomów przez czas warunkowej przydatności wody do spożycia, nawet jeśli przedłuża się on do kilku czy kilkunastu lat.

Bardziej problematyczne są poziomy żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia mieszczące się w granicach **300-500 µg/l**. Zazwyczaj wiąże się z nimi negatywnie odbierany przez konsumentów wyraźny wzrost barwy i mętności wody, metaliczny smak, przebarwienia pranej odzieży, urządzeń sanitarnych, zmywanych powierzchni i przedmiotów użytku mających kontakt z wodą. Nasilenie tych zmian może być jednak zróżnicowane, w zależności od warunków utleniająco-redukcyjnych w systemie wodociągowym. Także skala zagrożenia tworzeniem się nierozpuszczalnych osadów żelaza w sieci dystrybucji może być zróżnicowana i często ma umiarkowane nasilenie. Zawsze sprawdzenia wymaga liczba skarg kierowanych przez konsumentów do producentów wody i do organów Państwowej Inspekcji Sanitarnej, jak też liczby awarii sieci wodociągowej i trendy czasowe w tym zakresie. Jeśli barwa i mętność wody wykazują niewielki

lub umiarkowany wzrost (mętność wody nie przekracza 5 NTU), konsumenci akceptują jakość wody lub zgłaszają jedynie sporadyczne zastrzeżenia, stężenia żelaza w wodzie są stabilne (nie wykazują trendu wzrostowego), nie występują częste epizody zerwania osadów, stan techniczny sieci wodociągowej nie budzi istotnych zastrzeżeń to wartości stężeń żelaza mieszczące się w powyższym przedziale mogą być akceptowane, w razie konieczności również przez okres kilku lat – przy niezmiennie starannej kontroli wymienionych wyżej danych i parametrów.

Poziomy żelaza w wodzie pozostające w granicach **500-700 µg/l** z reguły w znaczny sposób pogarszają jakość organoleptyczną wody, której akceptowalność bywa problematyczna dla konsumentów. Ogranicza to zarazem możliwość wykorzystania jej do niektórych celów domowych. W zależności od stopnia powyższych zmian w jakości wody, wartości te mogą być akceptowane, jednak przez krótszy okres czasu, najlepiej nie dłużej niż kilka-kilkanaście miesięcy do 2 (5) lat.

W przypadku stężeń żelaza przekraczających 700 µg/l stwierdzenie warunkowej przydatności wody do spożycia powinno być oparte na wnikliwej analizie parametrów organoleptycznych wody i stopnia ich zaburzenia. Należy podkreślić, że w przypadku wód ujmowanych, w których panują warunki redukcyjne, stężenia żelaza sięgające kilkuset do kilku tysięcy µg/l mogą nie wpływać istotnie na ocenę sensoryczną wody, sytuacja ta może jednak ulegać zmianie w punkcie czerpalnym u konsumenta pod wpływem zetknięcia się z tlenem. Starannej analizy wymaga wpływ stężeń żelaza na stan sieci wodociągowej i nasilenie osadów żelaza oraz związanych z tym problemów eksploatacyjnych. Warunkowa przydatność wody do spożycia powinna obejmować możliwie jak najkrótszy czas, najlepiej nie dłużej niż kilkanaście miesięcy.

Tabela 1. Zakres stężeń żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia a czas warunkowej przydatności wody do spożycia

Zakres stężeń żelaza w wodzie przeznaczonej do spożycia	Wpływ na wskaźniki organoleptyczne wody	Tworzenie się osadów w urządzeniach wodociągowych	Proponowany (maksymalny) czas warunkowej przydatności wody do spożycia
>200-300 µg/l	uchwytny w badaniach laboratoryjnych, słabo wyrażony	słabo lub miernie nasilone	ok. 10 lat
>300-500 µg/l	słabo lub wyrażony, możliwe przebarwienia materiałów kontaktujących się z wodą (ceramiki sanitarnej, pranych tkanin, zmywanych powierzchni, itp.)	umiarkowanie nasilone	ok. 7 (10) lat
>500-700 µg/l	wyraźny	wyraźne lub znaczne	ok. 2 (5) lat
>700 µg/l	na ogół znaczny	znaczne/nasilone	jak najkrótszy; optymalnie do kilkunastu miesięcy

Powyższe wartości należy traktować jako orientacyjne i odnoszące się do łącznego czasu utrzymywania się podwyższonych stężeń żelaza w wodzie od chwili stwierdzenia warunkowej przydatności wody do spożycia. Nie oznaczają one również konieczności uznania wody za nieprzydatną do spożycia w razie, gdy na skutek szczególnych okoliczności wymagana jakość wody nie zostanie przywrócona w powyższych terminach. Niekiedy jednak podmioty realizujące zaopatrzenie w wodę uznają stwierdzenie warunkowej dopuszczalności wody do spożycia za akceptację bieżącej sytuacji, zwlekając z planowaniem i podjęciem działań naprawczych, do czego nie należy dopuszczać.

Zawsze korzystne jest uzyskanie zgodności stężenia żelaza w wodzie z wymaganiami określonymi w przepisach w jak najkrótszym czasie, praktyka wskazuje jednak, że realne możliwości w tym zakresie są zróżnicowane. Warunkowa dopuszczalność wody do spożycia może być stwierdzana na czas, jaki w ocenie producenta wody jest potrzebny na realizację inwestycji i prac przywracających odpowiednią jakość wody, nie wyczerpujący sugerowanych wyżej terminów, które

należy traktować jako maksymalne, obejmujące łączny czas utrzymywania się podwyższonych stężeń żelaza w wodzie, także w przypadku, gdy działania naprawcze przedłużają się.

Zdarza się niekiedy, że dopuszczalna wartość parametryczna określona na czas warunkowej przydatności wody do spożycia ulega przekroczeniu, mimo uprzedniej starannej analizy jakości wody i warunków panujących w danym systemie zaopatrzenia. Możliwe przyczyny tego stanu rzeczy obejmują:

- wzrost stężenia żelaza w wodzie ujmowanej – pochodzenia geogennego, niekiedy pozostający w związku z poborem wody z ujęcia i związanymi z tym zmianami warunków hydrogeologicznych,
- zmniejszenie sprawności funkcjonujących/częściowo sprawnych systemów odżelaziania na stacji uzdatniania wody,
- wpływ osadów nierozpuszczalnych związków żelaza, które uległy osadzeniu na wewnętrznych powierzchniach elementów konstrukcyjnych systemu wodociągowego. Żelazo może ulegać z nich uwolnieniu do wody, w dwóch podstawowych mechanizmach:
  - (1) w przypadku odcinkowej fragmentacji dużych mas osadów, czemu towarzyszy znaczny wzrost jego stężenia, ze wzrostem barwy i mętności wody, który jednak ma zwykle charakter krótkotrwały i przemijający; epizody tego rodzaju powodowane są przez znaczne i gwałtowne zmiany ciśnienia i przepływu w instalacji;
  - (2) stopniowego przenikania żelaza zawartego w osadach do przesyłanej wody, co zazwyczaj jest następstwem warunków sprzyjających redukcji żelaza do formy  $Fe^{2+}$  i zwiększających jego rozpuszczalność (spadek wartości pH wody, zmniejszenie zawartości tlenu rozpuszczonego). Wzrost stężenia żelaza w takim przypadku ma charakter długotrwały, niekiedy z tendencją do stałego dalszego narastania.
- korozja zastosowanych w urządzeniach wodociągowych materiałów metalowych na bazie żelaza i węgla – stali i staliwa niestopowe, żeliwa. W takim przypadku wzrost stężenia żelaza może dotyczyć wody jedynie w części systemu dystrybucji, albo nawet jedynie w instalacji wodociągowej w budynku. Wzrost stężenia żelaza w wodzie może też nastąpić w kilku powyższych mechanizmach jednocześnie.

W powyższej sytuacji należy:

- ocenić (w miarę możliwości) przyczynę wzrostu stężenia żelaza w wodzie ponad wartość parametryczną – w szczególności ustalić, czy jest wywołana zwiększeniem stężenia żelaza w wodzie

- ujmowanej, czy wzrost następuje na etapie dystrybucji wody (w tym przypadku możliwa bywa doraźna interwencja, pozwalająca przywrócić wcześniejsze poziomy żelaza w wodzie),
- wykonać ponowne oznaczenie żelaza w wodzie – pobranej w punkcie wprowadzenia wody do sieci (jeśli jest uzdatniana – także w wodzie ujmowanej), ponadto pobranej z sieci dystrybucyjnej oraz z punktu zgodności,
  - jeśli przyczyną wzrostu stężenia żelaza i przekroczenia dopuszczalnej wartości parametrycznej był epizod zerwania osadów, po którym stężenia żelaza wróciły do poziomu wyjściowego, co potwierdziły kolejne badania wody, dopuszczalna wartość parametryczna określona na czas warunkowej przydatności wody do spożycia nie wymaga modyfikacji,
  - w pozostałych sytuacjach, jeśli przekroczenie dopuszczalnej wartości parametrycznej utrzymuje się, należy ocenić możliwość jej modyfikacji i podwyższenia – przy zachowaniu analogicznych warunków, jak przy początkowym jej określaniu.

W powyższej sytuacji należy także ocenić perspektywę czasową stwierdzonej warunkowej przydatności wody do spożycia, a w razie konieczności rozważyć jej skrócenie lub nieprzedłużanie. Dotyczy to zwłaszcza tych sytuacji, kiedy wzrostowi stężeń żelaza w wodzie towarzyszy znaczne pogorszenie wskaźników organoleptycznych wody i skargi mieszkańców.

### **Badania jakości wody o podwyższonym stężeniu żelaza podczas warunkowej przydatności wody do spożycia.**

**W okresie warunkowej przydatności wody do spożycia niezbędne jest kontrolowanie stężenia żelaza w wodzie z większą częstotliwością**, jak również manganu (o ile uprzednie wstępne badania wykazały jego podwyższone stężenie w wodzie ujmowanej), zapachu, smaku, barwy i mętności wody oraz wartości pH. Dodatkowo podwyższona mętność wody wymaga zawsze wykluczenia skażenia mikrobiologicznego, jednak w przypadku udokumentowanego i nie budzącego wątpliwości geogenicznego pochodzenia podwyższonych stężeń żelaza w wodzie z ujęć podziemnych, systematyczne powtarzanie tego badania ze zwiększoną częstością nie jest konieczne, o ile nie uzasadniają tego inne okoliczności.

Wymienione badania powinny dotyczyć wody wprowadzanej do sieci, wody w sieci oraz w punkcie zgodności. Częstotliwość pobierania próbek powinna uwzględniać ocenę stabilności/wahań stężeń żelaza w wodzie oraz wpływu podwyższonych stężeń żelaza na jakość wody, zwłaszcza parametry organoleptyczne. Wyższe wartości stężeń żelaza oraz odbiegające w znacznym stopniu od przeciętnych wskaźniki organoleptyczne wymagają szczególnego zwiększenia częstości



badania wody, zwłaszcza jeśli towarzyszą im inne nieprawidłowości, jak podwyższone stężenie manganu, skargi konsumentów na jakość wody lub częste awarie techniczne w systemie dystrybucji wody.

Zwiększenie częstości badań wody i dostosowanie ich do stopnia zmian jej jakości jest szczególnie ważne w najmniejszych wodociągach, w których zgodnie z regulacjami prawnymi jakość wody w zakresie parametrów grupy B, do których należy żelazo, poddawana jest kontroli rzadziej niż raz w roku. Za minimalną liczbę badań należy przyjąć 2 badania rocznie, z uwagi na mogące następować zmiany stężenia żelaza w wodzie ujmowanej, których powodem są procesy geochemiczne wywołane samą eksploatacją ujęcia.

Zalecana częstotliwość pobierania próbek wody do badań, w przypadku stwierdzenia przekroczenia wartości parametrycznej żelaza w zależności od wartości stężeń i wielkości dobowej produkcji wody przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 3. Zalecana częstotliwość pobierania próbek wody do badań, w przypadku stwierdzenia przekroczenia wartości parametrycznej żelaza w zależności od wartości stężeń i wielkości dobowej produkcji wody

Stężenie żelaza w wodzie	Częstotliwość pobierania próbek wody do badań liczba próbek/rok				
	≤ 100 m <sup>3</sup> /d	>100≤1000 m <sup>3</sup> /d	>1000 ≤ 10 000 m <sup>3</sup> /d	10 000 ≤ 100 000 m <sup>3</sup> /d	>100 000
>200≤300 µg/l	nie rzadziej niż 2	2	3-5	7-16	min. 21
>300≤500 µg/l	3	4	5-9	10-21	min. 28
>500≤700 µg/l	4	6	7-11	12-28	min. 35

### Uwagi końcowe

Osiągnięcie stężeń żelaza zgodnych z regulacjami prawnymi i nieprzekraczającymi wartości parametrycznej jest istotne w celu zapewnienia akceptowalności wody przez konsumentów oraz zapobiegania niepożądanym zmianom w stanie technicznym sieci dystrybucyjnej. **W związku z tym**

**dopuszczalny czas przeznaczony na realizację działań naprawczych wyznacza nie obawa o szkodliwe następstwa dla zdrowia, ale możliwości techniczne, organizacyjne i finansowe podmiotów realizujących zaopatrzenie w wodę, które mogą być znacznie zróżnicowane.**

Przy stwierdzaniu warunkowej przydatności wody do spożycia należy kierować się wartościami uzyskiwanych stężeń żelaza w wodzie i stopniem przekroczenia wartości parametrycznej, wynikającymi stąd zmianami wskaźników organoleptycznych wody i ich tolerowaniem przez konsumentów oraz stanem technicznym systemu dystrybucji wody. Nie mniejsze znaczenie mają lokalne warunki zaopatrzenia w wodę, możliwości techniczne i organizacyjne przeprowadzenia działań naprawczych i ewentualnie zapewnienia dostaw wody z alternatywnych źródeł oraz konsekwencje zaopatrzenia w wodę niespełniającą wymagań jakościowych w odniesieniu do powyższych parametrów dla instytucji i obiektów, zaopatrywanych w wodę na tym terenie.

Ogólnie biorąc, im krócej utrzymuje się nieskuteczne uzdatnianie wody o nadmiernej zawartości żelaza i podwyższone wartości jego stężeń w wodzie przeznaczonej do spożycia, tym mniej nasilone będą niekorzystne zmiany w stanie sieci wodociągowej. Należy więc zaplanować i podejmować działania naprawcze bez zbędnej zwłoki, a następnie konsekwentnie je realizować. Rozwiązania skutecznie odżelaziające wodę są możliwe do zastosowania nawet w małych wodociągach. Okres 5 lat na ich realizację wydaje się odpowiedni dla większości obiektów, jednak z uwagi na brak obiektywnych przesłanek do jego wyznaczenia powinien być traktowany jako proponowane i nie obowiązujące bezwzględnie kryterium. Jeśli więc jakość organoleptyczna wody nie budzi zastrzeżeń konsumentów, kontrolne badania wody nie ujawniają innych nieprawidłowości, w szczególności jeśli stężenie żelaza nie przekracza 500 µg/l (0,5 mg/l), okres ten może być wydłużony do lat 10 lub nawet lat 12. Biorąc pod uwagę, że w przypadkach przekroczeń dopuszczalnych stężeń parametrów o istotnym znaczeniu dla bezpieczeństwa wody dla zdrowia ludzi, czas możliwej do udzielenia zgody na odstępstwo wynosił łącznie maksymalnie 9 lat, okres 10-15 lat w przypadku przekroczeń wartości parametrycznej żelaza, z którym nie wiąże się takie ryzyko, można uznać za adekwatny. **Niezbędne jest jednak uwzględnienie uzyskiwanych wartości stężeń żelaza i ich wpływu na parametry organoleptyczne wody oraz stan techniczny sieci wodociągowej.** Oceny wymagają także konsekwencje warunkowej przydatności wody do spożycia i kontynuowanie zaopatrzenia w wodę dla obiektów użyteczności publicznej, szanse realizacji planowanych działań naprawczych lub alternatywnych źródeł zaopatrzenia w wodę.





## **PROPOZYCJE WZORÓW KOMUNIKATÓW PAŃSTWOWEGO POWIATOWEGO/GRANICZNEGO INSPEKTORA SANITARNEGO W PRZYPADKU PODWYŻSZONEGO STĘŻENIA ŻELAZA W WODZIE PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI:**

### **KOMUNIKAT PAŃSTWOWEGO POWIATOWEGO INSPEKTORA SANITARNEGO**

**W .....**

**w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi z wodociągu w miejscowościach**

**.....**

Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w ..... informuje, że w badaniach wody z wodociągu zaopatrującego miejscowości: ....., ....., ..... w gminie ..... powiat....., stwierdzono przekroczenie wartości parametrycznej żelaza.

Może to powodować pogorszenie wyglądu i smaku wody, ale nie stwarza zagrożenia dla zdrowia konsumentów. W związku z tym Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w ..... stwierdza warunkową przydatność wody do spożycia. Woda może być wykorzystywana bez ograniczeń do celów spożywczych i gospodarczych.

Trwają prace mające na celu przywrócenie jakości wody spełniającej wymagania określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia .....



*(komunikat odnosi się do sytuacji, w której stwierdzono podwyższone stężenie żelaza w wodzie, niestwarzające zagrożenia dla zdrowia ludzi (>200 µg/l), któremu nie towarzyszą inne zmiany jakości wody, w tym zmiany organoleptyczne)*



## KOMUNIKAT PAŃSTWOWEGO POWIATOWEGO INSPEKTORA SANITARNEGO

W .....

**w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi z wodociągu w miejscowościach**  
.....

Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w ..... informuje, że w badaniach wody z wodociągu zaopatrującego miejscowości: ....., ....., ..... w gminie ..... powiat....., stwierdzono wzrost mętności i barwy wody oraz przekroczenie wartości parametrycznej żelaza.

Zmiany te mogą ujemnie wpływać na wygląd i smak wody, ale nie stwarzają zagrożenia dla zdrowia konsumentów. W związku z tym Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w ..... stwierdza warunkową przydatność wody do spożycia. Woda może być wykorzystywana bez ograniczeń do celów spożywczych i gospodarczych.

Trwają prace mające na celu przywrócenie jakości wody spełniającej wymagania określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia .....



\* \* \*

*(komunikat odnosi się do sytuacji, w której stwierdzono podwyższone stężenie żelaza w wodzie, niestwarzające zagrożenia dla zdrowia ludzi (>200 µg/l), któremu towarzyszy wzrost mętności i barwy wody, lecz nie stwierdzono innych zmian jakości wody, w szczególności wykluczono skażenie mikrobiologiczne wody).*



Główny Inspektorat Sanitarny