

Występowanie bakterii siarkowych a jakość wód podziemnych ujęcia Osowa

Alina Wargin¹, Martyna Marchelek²

Presence of sulphur bacteria and a quality of groundwater in water intake Osowa. *Prz. Geol.*, 63: 1122–1124.

Abstract. Microorganisms that live in groundwater should be considered not only from the sanitary-hygienic point of view but also in terms of adverse changes in groundwater chemistry in the aquifer layer and its negative influence on the installed devices. For these reasons, it is important to correct approach to the problem of bacterial contamination of groundwater. The paper presents selected results of physicochemical and bacteriological parameters of raw water and treated water (after building a water treatment plant). The aim of the study is evaluation of groundwater quality on water intake Osowa taking into account the presence of sulfur bacteria, as well as to determine the causes of the appearance of hydrogen sulfide smell in these waters.

Keywords: sulphate reducing bacteria, groundwaters quality, groundwaters

W artykule zaprezentowano wybrane wyniki badań parametrów fizyczno-chemicznych oraz bakteriologicznych wód ujmowanych na ujęciu Osowa. Przedstawiono jakość wód surowych i uzdatnionych (po wybudowaniu stacji uzdatniania).

Celem pracy jest ocena stanu wód podziemnych na ujęciu Osowa z uwzględnieniem występowania bakterii siarkowych, a także określenie przyczyn pojawiania się zapachu siarkowodoru w tych wodach.

Mikroorganizmy bytujące w wodach podziemnych należy rozpatrywać zarówno z sanitarno-higienicznego punktu widzenia, jak i pod kątem niekorzystnych zmian składu chemicznego wód podziemnych, zachodzących w samej warstwie wodonośnej oraz ich ujemnego wpływu na zainstalowane urządzenia eksploatujące wody. Z tych powodów bardzo ważne jest właściwe podejście do problemu zanieczyszczeń bakteryjnych wód podziemnych (Oleszkiewicz-Goździelewska, 1993).

Większość bakterii występujących w wodach naturalnych należy do organizmów heterotroficznych, przeważają wśród nich saprofity odżywiające się martwą materią pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Właściwe bakterie wodne odznaczają się oligotrofizmem, mogą korzystać ze składników pokarmowych dostępnych w bardzo małym stężeniu. Bakterie „wodne” mogą unosić się swobodnie, względnie mogą zasiedlać stałe podłoża.

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANYCH BAKTERII

Bakterie tionowe występują pojedynczo lub w koloniach. Najlepiej poznaną grupą bakterii tionowych są przedstawiciele rodzaju *Thiobacillus*, którego gatunki wykazują duże zróżnicowanie pod względem własności fizjologicznych. Szczególnie aktywne w przemianach związków siarki są gatunki *Thiobacillus thiooxidans*, *T. thioparus* i *T. denitrificans* (Buchanan & Gibbons, 1974). Energię potrzebną do asymilacji CO₂ i syntezy własnych substancji organicznych bakterie te czerpią z utlenienia zredukowanych związków siarki do siarczanów lub kwasu siarkowego (Oleszkiewicz-Goździelewska, 1993; Holt, 1994; Hiszpańska i in., 2001; Olańczuk-Neyman, 2001; Kotowski & Burkowska, 2009). *T. denitrificans* w warunkach beztle-

nowych może wykorzystywać tlen z azotanów, redukując je do azotu cząsteczkowego, równocześnie utleniając zredukowane związki siarki do siarczanów (Hiszpańska i in., 2001; Kotowski & Burkowska, 2009).

Brak tlenu, bądź jego niska zawartość, obecność siarczanów oraz niski potencjał redox to warunki sprzyjające rozwojowi **bakterii redukujących siarczany**. Mikroorganizmy te wykorzystują siarczany, a także inne utlenione nieorganiczne związki siarki jako akceptory elektronów w procesie utleniania substratów organicznych (Oleszkiewicz-Goździelewska, 1993; Hiszpańska i in., 2001; Machnicka & Grübel, 2006; Wargin i in., 2007; Fangyuan i in., 2013). W wyniku dysymilacyjnej redukcji siarczanów w warunkach beztlenowych wytwarza się siarkowodor (Szyper & Danielak, 1993; Pruszkowska & Wargin, 2005). Uwalniany przez bakterie desulfurykacyjne H₂S może dyfundować do warstw bardziej natlenionych, gdzie jest utleniany przez bakterie tionowe.

Obok siarczanów (VI), jako akceptory elektronów bakterie te mogą wykorzystywać inne nieorganiczne związki siarki, tj. siarczany (IV), tiosiarczany i tioniany. Pomimo anaerobowego charakteru przedstawiciele grupy bakterii desulfurykacyjnych wykazują dużą tolerancję wobec niektórych skrajnych warunków ziemskich (Spadowska i in., 1979; Wargin i in., 2007).

CHARAKTERYSTYKA UJĘCIA OSOWA

Prace związane z budową ujęcia Osowa rozpoczęto już w 1970 r. Ujęcie włączono do eksploatacji w 1980 r., jednak do 1987 r. eksploatowano zaledwie dwie studnie. Od tego czasu następowało sukcesywne rozbudowywanie ujęcia. W konsekwencji wszystkich działań powstało 11 otworów. Z powodu braku stacji uzdatniania wody po 1994 r. eksploatację ograniczono do studni, w których wody wykazywały najwyższą jakość. Eksploatacji poddawano pięć istniejących studni. Dalsze prace dotyczyły budowy stacji uzdatniania wody (SUW) dla ujęcia Osowa, którą oddano do eksploatacji w 2011 r. Lokalizację stacji przedstawiono na rycinie 1.

Ujęcie Osowa znajduje się w gminie Żukowo we wsi Chwaszczyno. Obecnie na obszarze ujęcia zlokalizowanych

¹ Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; awar@pg.gda.pl.

² Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański, ul. Wita Stwosza 63, 80-952 Gdańsk; martyna_mar@o2.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja stacji uzdatniania wody Osowa – na podstawie wirtualnej mapy ze strony www.trójmiasto.pl (stan na 21.08.2015 r.)
Fig. 1. Location of the water treatment plant Osowa – based on the virtual map of www.trójmiasto.pl (as of 21.08.2015 r.)

jest dziewięć wierconych studni głębinowych, ujmujących wody z utworów czwartorzędowych. Pięć z nich eksploatowano do 2011 r., natomiast kolejne cztery uruchomiono po wybudowaniu stacji uzdatniania ze względu na zwiększenie wydajności ujęcia. Przed powstaniem stacji całą sieć wodociągową w Osowej poddano trzykrotnemu płukaniu w ciągu roku (oczyszczenie instalacji z nagromadzonych osadów odkładających się w rurociągach). Proces uzdatniania wody na stacji jest prowadzony poprzez aerację wody na kolumnach aeracyjnych (4 kaskadowe kolumny), następnie przechodzi przez proces filtracji (19 filtrów ciśnieniowych wypełnionych złożem piaskowym). Na odpływie wody ze stacji jest prowadzona dezynfekcja promieniami UV.

JAKOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH

W rejonie ujęcia występują dwie czwartorzędowe warstwy wodonośne I (górną) i II (dolną). Wody w obu warstwach I i II charakteryzują się podobnym chemizmem. Są to wody wodorowęglanowo-wapniowe o niskiej zawartości składników mineralnych (sucha pozostałość wynosi ok. 200–300 mg/dm³). Twardość wody wynosi 125–235 mg CaCO₃/dm³, co pozwala ją zakwalifikować do miękkiej lub średnio twardej. Odczyn wody pH jest słabo zasadowy, waha się w granicach 7,2–8,2. Stężenia jonów chlorkowych i siarczanowych są niewielkie i wynoszą odpowiednio 5,3–18,4 mg Cl⁻/dm³ oraz 11,5–40,0 mg SO₄⁻²/dm³.

Skład warstw I i II różni się między sobą jedynie zawartością związków żelaza oraz manganu. Niższe stężenia występują w warstwie górnej, gdzie żelazo i mangan nie przekraczają odpowiednio 0,1 i 0,07 mg/dm³. W dolnej warstwie wody mają wyższe stężenia 0,4–0,9 mg Fe/dm³ oraz 0,01–0,08 mg Mn/dm³.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Wyniki badań fizyczno-chemicznych oraz materiały informacyjne dotyczące omawianego obiektu uzyskano od Przedsiębiorstwa Wodociągowo-Kanalizacyjnego SAUR Neptun Gdańsk i uzupełniono wynikami własnych badań bakteriologicznych prowadzonych na tym obszarze.

Zakres badań bakteriologicznych obejmował oznaczenie ilości bakterii *Thiobacillus thioparus* (zgodnie z PN-80/C-0465/22f), *T. thiooxidans* (zgodnie z PN-80/C-04615/23)

oraz bakterii redukujących siarczany (oznaczenie wg Starkey'a). Badania prowadzono dla 12 serii badawczych w surowych wodach podziemnych.

ANALIZA BADAŃ WODY SUROWEJ I UZDATNIONEJ

Smak wody surowej okresowo przekracza dopuszczalną normę i jest oceniony jako nieakceptowalny, ze względu na obecność siarkowodoru. Zapach również wskazywał wielokrotnie na obecność H₂S. W przypadku badań wody uzdatnionej wszystkie wartości smaku i zapachu określono jako 0, z wyjątkiem jednego pomiaru z dnia 12 kwietnia 2011 r., po rozpoczęciu działania SUW. Barwa wody surowej osiągała wartość nawet do 12 mg Pt/dm³ – dopuszczalna norma przed zmianami w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia wynosiła 15 mg Pt/dm³ (Rozporządzenie, 2010). Natomiast w wodzie po procesach uzdatniania nie przekroczyła wartości 8 mg Pt/dm³. Najczęściej jednak woda podawana do sieci wodociągowej miała wartość zaledwie 2 mg Pt/dm³.

Wartość pH oscyluje głównie pomiędzy 7,6 a 8,0 i w żadnej próbie nie przekracza zakresu dopuszczalnego (6,5–9,5 pH).

Podczas analizy wyników pomiaru mętności prawie połowa próbek wskazywała na przekroczenie dopuszczalnej normy 1 NTU, a najwyższa wynosiła ponad 3,5 NTU. Uruchomienie stacji spowodowało spadek mętności wody i braku przekroczeń wartości dopuszczalnych.

Stopień utlenialności w wodzie surowej na ujęciu Osowa jest niewielki i najczęściej oscyluje przy wartościach bliskich 1 mg O₂/dm³. Nie notowano przekroczeń poziomu dopuszczalnego 5 mg O₂/dm³ dla tego parametru.

W prawie wszystkich pomiarach parametrów wody surowej są przekroczone dopuszczalne stężenia jonów żelaza wynoszące 0,2 mg/dm³. Najwyższą wartość ponad 1 mg/dm³ osiągnęła woda pobrana 13 lipca 2011 r. Po uruchomieniu procesu oczyszczania wszystkie pomiary stężeń jonów żelaza plasują się znacznie poniżej maksimum dopuszczalnego, a większość wyników nie przekracza 0,05 mg Fe/dm³.

Stężenie jonów manganu w wodzie surowej w większości przekracza dopuszczalny poziom 0,05 mg/dm³, natomiast w wodzie uzdatnionej stężenie jonów manganu nie przekracza 0,005 mg/dm³, co oznacza że znajduje się znacznie poniżej dopuszczalnej normy.

Stężenie azotanów (V) w badanych wodach jest niewielkie i zawiera się w granicach 0,02–0,08 mg/dm³. Również stężenie jonów siarczanowych nie jest wysokie i pozostaje w zakresie 18–25 mg/dm³.

W wodach z ujęcia Osowa nie stwierdzono występowania bakterii *Thiobacillus thiooxidans*. Bakterie z gatunku *T. thioparus* występowały sporadycznie, przy czym najbardziej prawdopodobna liczba (NPL) tych bakterii mieściła się w zakresie 19–29 w 100 cm³ wody. NPL bakterii redukujących siarczany zawierała się w zakresie od 2 do 23 w 100 cm³ wody, przy czym obserwowano obecność tych bakterii we wszystkich badanych próbkach.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przeanalizowane dane dotyczące badań jakości wody przeznaczonej do spożycia zarówno przed uzdatnieniem, jak i po wdrożeniu systemu uzdatniania wody, pozwalają na ocenę pracy SUW Osowa. Zastosowanie systemu napowietrzania wstępnego w postaci aeratorów kaskadowych, pozwoliło na uzyskanie lepszych parametrów organoleptycznych wody. Nastąpiła znaczna poprawa smaku i zapachu wody oraz całkowita eliminacja zapachu siarkowodorowego.

Wyniki badań bakteriologicznych poddano analizie na tle składu chemicznego wód. Zauważono niewielką tendencję spadkową utlenialności wód oraz bardzo niewielkie stężenie jonów azotanowych (V). Dostrzegalna jest również bardzo niewielka zawartość jonów siarczanowych w wodach. Wymienione obserwacje pozwalają stwierdzić, że mikroorganizmy wpływają na zmiany składu chemicznego wód. Następuje tu biologiczne utlenianie substancji organicznych, które w warunkach beztlenowych, w pierwszej kolejności są utleniane przez azotany, a po ich wyczerpaniu, następuje utlenianie kosztem siarczanów. W wyniku omówionych procesów maleje stężenie azotanów, siarczanów, obniża się utlenialność wody oraz pojawia się siarkowodór.

Występujące w wodach podziemnych bakterie mają bezpośredni lub pośredni wpływ na ich jakość. Duża aktywność biochemiczna bakterii utleniających związki siarki (tionowych) przejawia się zazwyczaj gwałtownym wzrostem stężenia jonów siarczanowych, co może spowodować daleko idące zmiany składu chemicznego wody. Powstający H₂SO₄ może silnie obniżyć pH wody i stworzyć warunki przechodzenia do wody związków żelaza i manganu oraz składników wielu minerałów (Górski, 1981). Ważną funkcją tej grupy bakterii jest usuwanie toksycznego związku jakim jest H₂S. W odróżnieniu od omówionych mikroorganizmów działalność bakterii redukujących siarczany zdecydowanie obniża właściwości organoleptyczne wody do picia, gdyż nadaje jej zapach zgniłych jaj, charakterystyczny dla siarkowodoru.

PODSUMOWANIE

W pracy oceniono występowanie bakterii siarkowych w wodach podziemnych pochodzących z ujęcia Osowa. Na ujęciu tym w wodach jest notowane okresowe pojawianie się zapachu siarkowodoru.

O możliwości rozwoju bakterii występujących w wodach podziemnych decydują zarówno chemiczne, jak i fi-

zyczne warunki środowiskowe. Specyfika tego środowiska ma określony wpływ na zaopatrzenie bakterii w substancje pokarmowe, a zatem i na ich liczbę.

Bakterie siarkowe wpływają na zmiany składu chemicznego oraz właściwości fizyczne wód podziemnych. Obecność bakterii redukujących siarczany pogarsza jakość wód, gdyż produkowany przez nie siarkowodór, nawet w bardzo małych stężeniach, nadaje jej nieprzyjemny smak i zapach. Jedną z przyczyn obecności w wodach podziemnych z ujęcia Osowa siarkowodoru (nie można na tym etapie badań wykluczyć innych procesów powstawania H₂S) są procesy mikrobiologiczne zachodzące w warunkach beztlenowych.

Bakterie tionowe występujące w wodach podziemnych w odpowiednim środowisku „eliminują” siarkowodór nadający wodzie nieprzyjemny zapach. Bakterie te utleniają siarkowodór i mogą przyczyniać się do wzrostu stężenia siarczanów w wodach. Tym należy tłumaczyć tendencję do utrzymywania się stężenia siarczanów na niemal stałym poziomie, pomimo działalności bakterii redukujących siarczany.

LITERATURA

- BUCHANAN R.E. & GIBBONS N.E. 1974 – Bergey's manual of determinative bacteriology. Waverly Press INC., Baltimore.
- FANGYUAN LIANG, YONG XIAO & FENG ZHAO 2013 – Effect of pH on sulfate removal from wastewater using a bioelectrochemical system. Chem. Eng. J., 218.
- GÓRSKI J. 1981 – Kształtowanie się jakości wód podziemnych utworów czwartorzędowych w warunkach naturalnych oraz wymuszonych eksploatacją. Inst. Kształt. Środ., Warszawa.
- HISZPAŃSKA A., MALEK R. & APOLINARSKI M. 2001 – Badania wpływu wstępnego odgazowania wody na usuwanie azotanów w procesie denitryfikacji siarkowej. Ochr. Środ., 4 (83): 41–43.
- HOLT J.G. (red.) 1994 – Bergey's manual of determinative bacteriology, Lippincott. Williams & Wilkins, Baltimore.
- KOTOWSKI T. & BURKOWSKA A. 2009 – Geneza siarczanów w głębokim plejstocenijskim poziomie wodonośnym w rejonie Wysokiej na podstawie badań izotopowych i mikrobiologicznych. Biul. Państw. Inst. Geol., 436: 273–280.
- MACHNICKA A. & GRÜBEL K. 2006 – Badania możliwości wykorzystania bakterii naturalnego cyklu siarki do usuwania kadmu ze ścieków. Ochr. Środ., 2 (28): 27–31.
- OLAŃCZUK-NEYMAN K. 2001 – Mikroorganizmy w kształtowaniu jakości i uzdatnianiu wód podziemnych. Wyd. PG, Gdańsk.
- OLESKIEWICZ-GOŹDZIELEWSKA A. 1993 – Występowanie i rola bakterii siarkowych w wodach podziemnych. [W:] Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Materiały na X Sympozjum naukowo-techniczne nt. „Biologia i monitoring wód podziemnych”. 16–17 listopada 1993 r., Częstochowa: 41–45.
- PRUSZKOWSKA M. & WARGIN A. 2005 – Bakterie redukujące siarczany w hydrogeochemicznych badaniach wód piętra trzeciorzędowego w rejonie gdańskim. [W:] Hydrogeochemia 05. Nove Trendy V Hydrogeochemii. Zbornik z międzynarodowej vedeckej konferencie. Bratislava, 21.–22. jun 2005. IX Rocnik.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. nr 72, poz. 466).
- SPANDOWSKA S., DANIELAK K. & ZIEMKOWSKI A. 1979 – Metodyka bakteriologicznego badania wód podziemnych i gruntów. Wyd. Geol., Warszawa.
- SZYPER H. & DANIELAK K. 1993 – Pojawianie się organizmów w ujmowanej wodzie a problemy eksploatacji ujęć wód podziemnych. [W:] Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Materiały na X Sympozjum naukowo-techniczne nt. „Biologia i monitoring wód podziemnych”. 16–17 listopada 1993 r., Częstochowa: 57–59.
- WARGIN A., OLAŃCZUK-NEYMAN K. & SKUCHA M. 2007 – Sulfate-reducing bacteria, their properties and methods of elimination from groundwater, Pol. J. Environ., 4: 639–644.