

Apolinary L. Kowal

Bezpieczeństwo sanitarne wody w wodociągach publicznych

W wodach mogą występować organizmy patogenne, których oporność na dezynfekcję jest bardzo zróżnicowana. Analiza bakteriologiczna wody opiera się głównie na organizmach wskaźnikowych, których obecność wskazuje na potencjalne zagrożenie organizmami chorobotwórczymi. Zagrożenie epidemią jest zawsze prawdopodobne i operatorzy wodociągów muszą to mieć stale na uwadze [1].

Średniowiecze było nękane różnymi epidemiami przenoszonymi nie tylko drogą wodną. Ostatnie wielkie epidemie w Europie wystąpiły w XIX wieku. W latach 1854–1989 odnotowano w Europie 70 epidemii, z czego 39 było epidemiami tyfusu [2]. Statystyka ta nie obejmuje epidemii w krajach demokracji ludowej, w których takie przypadki stanowiły tajemnicę państwową. Ujawniony był również przypadek tyfusu i czerwonki w okresie powojennym w Chełmie Lubelskim. W Niemczech w latach 1945–1956 odnotowano 10 epidemii tyfusu. Największą epidemię w historii odnotowano w Milwaukee (USA), gdzie na kryptosporidiozę zachorowało w 1993 r. 400 tys. osób, a około 120 zmarło [3,4].

Obecnie w wyniku zakażenia wody częściej niż epidemie występują zachorowania typu zapalenia żołądkowo-jelitowych. Ujęć wód podziemnych nie należy uważać za absolutnie pewne, gdyż ostre rozstroje przewodu pokarmowego częściej występowały właśnie w wodociągach korzystających z wód podziemnych [5]. Stwierdzono również, że 17% ujęć wód podziemnych w Stanach Zjednoczonych było skażonych przez pasożyty *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia*. W latach 1978–1986 wystąpiły 92 epidemie giardiozy, głównie w układach uzdatniania wód powierzchniowych, w których zastosowano chlorowanie, a pominięto filtrację. Kryptosporidioza w Milwaukee (1993 r.) wystąpiła w wyniku niedostatecznego oczyszczania wód ujmowanych z Jeziora Michigan, które jest również odbiornikiem ścieków.

W zaopatrzeniu w wodę dominuje pogląd, że dezynfekcja powinna stanowić ostateczne zabezpieczenie, a woda już w procesach uzdatniania powinna być pozbawiona patogenów, dlatego zaleca się ujmować wody pewne pod względem sanitarnym, z wód powierzchniowych nie obciążonych ściekami, bądź wody podziemne przykryte warstwą nieprzepuszczalną.

Układ oczyszczania wody powinien być tak rozbudowany, aby na końcu procesu woda była pozbawiona patogenów i spełniała wszystkie wymagania przepisów sanitarnych. Oczyszczanie wody powinno pozbawić ją zawieszin, mętności oraz związków, które wykazują zapotrzebowanie na utleniacze oraz wchodzi z nimi w reakcje, powodując powstawanie ubocznych produktów dezynfekcji. Koagulacja prowadzona w optymalnym zakresie pH dla danego koagulantu zapewnia obniżenie utlenialności i ogólnego węgla organicznego

w bardzo wysokim stopniu. Filtracja po koagulacji obniża mętność wody do poziomu zapewniającego usunięcie bakterii, wirusów i pasożytów oraz wyższych organizmów, co jest szczególnie istotne przy ujmowaniu wód powierzchniowych.

Obecnie zaleca się, aby wodociągi ujmujące wody powierzchniowe miały na końcu procesu oczyszczania sorpcję na węglu aktywnym poprzedzoną ozonowaniem. Dawki ozonu typowe dla dezynfekcji rozbijają wielkocząsteczkowe związki organiczne, w tym związki barwne, przygotowując je do biodegradacji na węglu aktywnym. Należy jednak mieć na uwadze, że ozonowanie może spowodować powstanie bromianów i jeżeli takie zagrożenie występuje, to lepszym rozwiązaniem jest dezynfekcja promieniami UV z dodatkiem wody utlenionej. Wówczas uzyskuje się równie dobre przygotowanie związków organicznych do biodegradacji na węglu aktywnym, a nie występuje zagrożenie powstawania bromianów.

W wodzie po układzie oczyszczania koagulacja–filtracja–ozonowanie–sorpcja usuwa się 99,0+99,9% bakterii, wirusów, pasożytów oraz glonów i wymaga ona tylko profilaktycznej dezynfekcji, gdyż w praktyce jest pozbawiona patogenów. Wiele jednak zależy od właściwej eksploatacji układu uzdatniania wody, w tym optymalnego pH koagulacji, utrzymania właściwego gradientu mieszania, stosowania środków wspomagających koagulację i filtrację, odpowiedniego sposobu eksploatacji filtrów pospiesznych (prędkość filtracji, długość cyklu filtracji, intensywność płukania filtrów, odprowadzanie pierwszego filtratu itp.) oraz właściwej eksploatacji filtrów węglowych. W praktyce woda po filtrach węglowych może zawierać bakterie saprofityczne wymywane z górnych warstw złoża węglowego. Jej dezynfekcja powinna być zatem zalecana.

W Niemczech wymagana jest dezynfekcja wód z ujęć powierzchniowych, podziemnych i źródłanych, a dopuszcza się tylko pominięcie dezynfekcji wód podziemnych z bardzo dobrze chronionych ujęć [6]. W Portugalii, Hiszpanii i Anglii nakazuje się chlorowanie wszystkich wód w wodociągach niezależnie od ich pochodzenia, natomiast w Austrii, Danii, Francji i Holandii obowiązkowa jest dezynfekcja tylko wód z ujęć powierzchniowych. W Stanach Zjednoczonych konieczna jest dezynfekcja wód z ujęć powierzchniowych (90% przez chlorowanie), z utrzymaniem pozostałego chloru w sieci wodociągowej, z dochlorowaniem wody w rozległych sieciach, bądź po magazynowaniu w otwartych zbiornikach wody czystej.

Ostatnio zamiast dezynfekcji wody po zbiornikach wprowadzono filtrację membranową [7]. Mikro-, ultra- i nanofiltracja może zastąpić dezynfekcję wody, gdyż zatrzymywane są bakterie, wirusy, pasożyty, a nawet pestycydy, nie mówiąc o związkach wielkocząsteczkowych i koloidach. Systemy membranowe należy uważać za techniki uzdatniania wody w najbliższej przyszłości.

Otwarte zbiorniki wody czystej stosowane są tylko w Stanach Zjednoczonych, gdzie dopuszcza się oddawanie do sieci wodociągowej wód z dobrze chronionych jezior i zbiorników zaporowych, tylko po chlorowaniu.

Po bardzo skutecznym oczyszczeniu woda nie powinna zawierać związków reagujących z chlorem lub innymi utleniaczami. Wówczas najlepszym środkiem do dezynfekcji są chlor bądź chloramina, natomiast dwutlenek chloru stosowany jest, gdy z wody nie udało się usunąć prekursorów ubocznych produktów chlorowania. Można wówczas rozważać utlenianie i dezynfekcję ozonem, ozonem z wodą utlenioną, promieniowanie UV samo lub łącznie z wodą utlenioną. W takich układach wykorzystuje się zarówno zdolność dezynfekcyjną jak i utleniającą do zniszczenia patogenów i innych związków – najczęściej organicznych – występujących w wodach [8]. Należy brać pod uwagę szkodliwość nadmiernych ilości dwutlenku chloru, którego dawkę ogranicza się w Niemczech do $0,4 \text{ g ClO}_2/\text{m}^3$, a w Stanach Zjednoczonych do $1 \text{ g}(\text{ClO}_2+\text{Cl}_2)/\text{m}^3$. Dwutlenek chloru jest silnym utleniaczem i szybko ulega redukcji w sieci wodociągowej, szczególnie starej i zarośniętej osadami. Pod tym względem lepszy jest chlor, bądź chloramina – ze względu na trwałość i zdolność do penetracji zarówno osadów jak i błon biologicznych w sieci. Chloramina stanowi również najpewniejsze zabezpieczenie przed bakteriami *Legionella* w systemach wody ciepłej [6].

Lepsze efekty zniszczenia *Cryptosporidium parvum* uzyskuje się przy ozonowaniu wody niż przy chlorowaniu [9]. Ostatnio również zaleca się wykorzystanie dezynfekcji promieniami UV, przy którym uzyskuje się 99,9% efektywności zabicia *C. parvum*, podobnie jak *B. coli* [10]. Dzięki temu można wykorzystać *B. coli* jako organizm wskaźnikowy na obecność *C. parvum*, którego oznaczenie jest bardzo kłopotliwe.

Podsumowanie

Bezpieczeństwo sanitarne wody wodociągowej jest wynikiem złożonych działań, na które składają się ochrona wód powierzchniowych i podziemnych przed zanieczyszczeniem, sposób ujmowania wody, metody oczyszczania wody oraz system eksploatacji sieci wodociągowej. Strefy ochrony sanitarnej ujęć wodociągowych pozwalają przynajmniej częściowo zapobiec ich zanieczyszczeniu. Założenie ujmowania wód z cieków nieobciążonych ściekami jest tylko częściowo możliwe. Wykorzystywanie ujęć wód z jezior i zbiorników zaporowych, pobór wód z infiltracji brzegowej, poddennej lub sztucznej, oddała znacznie lub obniża bezpośrednie zagrożenie zanieczyszczenia wód w miejscu ujęcia. Przy infiltracji sztucznej teren ujęć jest wyłączony z eksploatacji rolnej, co istotnie ogranicza zanieczyszczenie wód. Ujęcia wód

podziemnych niedostatecznie przykrytych warstwą nieprzepuszczalną dają złudne poczucie bezpieczeństwa. Wody te są narażone na skażenie w wyniku działalności rolnej oraz na zakażenie patogenami, np. po intensywnych opadach.

Obecny poziom technologiczny oczyszczania wód gwarantuje ich bezpieczeństwo sanitarne i chemiczne, a metody dezynfekcji uzupełniają efekty uzdatniania. Wdrożenie do praktyki technik membranowych może doprowadzić do perfekcji uzdatnianie wód. Techniki te są szczególnie ważne przy poborze wód o niepewnej jakości.

W eksploatacji układów uzdatniania wód i zaopatrzenia w wodę ważne jest zachowanie wysokiej higieny zbiorników wody czystej [11] oraz sieci rozdzielczej. Konieczne jest okresowe mycie i dezynfekowanie zbiorników wody czystej, płukanie i dezynfekcja sieci wodociągowej oraz szczególne postępowanie przy usuwaniu awarii na sieci rozdzielczej, które często są przyczyną skażenia i zakażenia wody w sieci. W eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę nie wolno zapominać o prawdopodobieństwie wystąpienia skażenia i zakażenia wody, co w najgorszym wypadku może prowadzić do epidemii.

LITERATURA

1. A. L. KOWAL: Pasożyty – zagrożenie publicznego zaopatrzenia w wodę. Ochrona Środowiska, 1995, nr 2(57), ss. 3–5.
2. D. SCHOENEN: Die hygienisch-mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser. GWF Wasser-Abwasser, 1996, Nr. 2, S.72–82.
3. D. LELAND, J. MCANULTY, W. KEENE, G. STEVENS: A Cryptosporidiosis outbreak in a filtered-water supply. Journal AWWA, 1993, Vol. 85, No. 6, p. 34–42.
4. K. J. MILLER: Protecting consumers from Cryptosporidiosis. Journal AWWA, 1994, Vol. 86, No. 12, p. 110.
5. J. B. ROSE et al.: Climate and waterborne disease outbreaks. Journal AWWA, 2000, Vol. 92, No. 9, p. 77–87.
6. J. DRUMM, R. SCHWEISFURTH: Untersuchungen von Wasserwärmern auf Legionellen. Vom Wasser, 1990, Band 74, S. 177–184.
7. S. STATES et al.: Membrane filtration as posttreatment. Journal AWWA, 2000, Vol. 92, No. 8, p. 59–68.
8. S. LIANG et al.: Treatability of MTBE-contaminated groundwater by ozone and peroxone. Journal AWWA, 2001, Vol. 93, No. 6, p. 110–120.
9. E. SCHLEUPEN: *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia*. Literaturrecherche. GWF Wasser-Abwasser, 1996, Nr. 2, S. 83–93.
10. A. A. MOFIDI et al.: Disinfection of *Cryptosporidium parvum* with polychromatic UV light. Journal AWWA, 2001, Vol. 93, No. 6, p. 95–109.
11. I. GUZOWSKA: Higiena zbiorników wodociągowych. Ochrona Środowiska, 2000, nr 1(76), ss. 11–14.

Sanitary Safety of Public Water Supply

Although epidemics of cholera were last reported in the 19th century, the managers of public water supply systems have always been on alert for every possible epidemic hazards. These days, epidemic is likely to come from protozoa (*Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*) and bacteria responsible for acute gastrointestinal disorder. The study reported in the present paper involved analyses of tap water quality provided by the waterworks of choice. The results show that the sanitary safety

demands made on public water supply will be met if the water intake is free from pollution hazards. In general, the sanitary safety of the public water supply system is determined by the following factors: the quality of the taken-in water, the treatment train, the disinfection methods, and service conditions. For these reasons, the implementation of membrane techniques should be considered as future best available technology.