

Stanisław A. Rybicki

System „multibariera” – sposób na zmniejszenie ryzyka dostarczenia wody o niewłaściwej jakości

Nowe przepisy dotyczące jakości wody do picia wprowadziły zwiększone wymagania [1], których spełnienie spowoduje konieczność realizacji wielu przedsięwzięć zapewniających wzrost efektywności technologicznej stacji oczyszczania wody. Jest to zwykle warunek konieczny, ale nie zawsze wystarczający, bowiem zarówno procesy i operacje technologiczne, jak i poszczególne urządzenia, mogą być wykorzystywane w różnym stopniu i w różnym zakresie, dostarczając wodę o odmiennej jakości.

Nierzadko traktuje się stacje oczyszczania wody, łącznie z dezynfekcją końcową, jako całość i przy tym jako jedyny obiekt, który ma – a w każdym razie powinien – zagwarantować wysoką jakość wody wprowadzanej do sieci, bez względu na oczywiste nawet uwarunkowania. Przykładem takich uwarunkowań może być stan jakości wód powierzchniowych, ujmowanych na cele wodociągowe, zwykle gorszy od wymaganego przez przepisy dotyczące jakości wód. Niekiedy, niedoskonałości procesu oczyszczania wód próbuje się z konieczności nadrobić podwyższoną dawką chloru. Sposób ten, np. w stosunku do nowego wskaźnika jakości wody, tj. *Cryptosporidium parvum*, nie rokuje szans powodzenia. Potrzebne są tu wysokoefektywne operacje technologiczne.

Malejącemu w naszym kraju zapotrzebowaniu na wodę zwykle towarzyszy obniżenie dochodów przedsiębiorstw wodociągowych. Istotne znaczenie ma też punkt widzenia jednostek nadrzędnych w sprawie ustalania opłat za wodę, bowiem ograniczenia finansowe stanowić mogą trudny warunek realizacji przedsięwzięć koniecznych do spełnienia wymagań nowych przepisów sanitarnych [1]. Można więc przypuszczać, że dostosowanie wodociągów w Polsce do nowych wymagań jakościowych nie będzie łatwe, a w podanych terminach [1] – nawet mało prawdopodobne. W tych warunkach istotne znaczenie powinny mieć działania optymalizacyjne, prowadzone zarówno w skali systemowej, dotyczącej całej szeroko pojętej gospodarki wodnej i wodociągowej, jak w skali obiektów, a nawet urządzeń przeznaczonych do określonych zadań, np. do poszczególnych etapów oczyszczania wody.

Charakterystyka systemu „multibariera”

Jednym ze sposobów, który może ułatwić zapewnienie wysokiego stopnia bezpieczeństwa zaopatrzenia ludności w wodę, przy wykorzystaniu każdego z czynników, jest tzw. system „multibariera” [2–6]. Sformułowanie takie pojawia się od pewnego czasu w specjalistycznej prasie zachodniej. Obejmuje się nim zespół obiektów, urządzeń, a także obszarów

(np. zlewni), które mogą oddziaływać na jakość wody. Zakłada się, że dla każdego rodzaju zagrożenia, np. zanieczyszczenia, należy zapewnić co najmniej dwa przeciwdziałania, tj. „bariery”. Cały system, przeznaczony do zwalczania wszystkich możliwych zagrożeń, to właśnie „multibariera”. Oprócz wysokiego stopnia pewności daje on możliwość optymalizacji działań. Zakłada się przy tym racjonalną maksymalizację wykorzystania poszczególnych obiektów, a nawet urządzeń. Każde ważniejsze działania są systematycznie kontrolowane, a podstawowe wskaźniki jakości wody sprawdza się na bieżąco. Przewiduje się określenie dla poszczególnych „barier” i całej stacji oczyszczania wody takich parametrów, jak [5]:

- maksymalny dopuszczalny stan jakości wody dopływającej,
- maksymalna dopuszczalna przepustowość urządzeń,
- wymagana charakterystyka wody na odpływie lub minimalny efekt oczyszczenia wody.

Usunięcie poszczególnych zanieczyszczeń powinno być dokonane możliwie jak najwcześniej, aby dezynfekcja końcowa stanowiła wyłącznie dodatkowe zabezpieczenie, a nie jeden z etapów oczyszczania wody. To podejście może być szczególnie przydatne do uzyskania wody o jakości wymaganej przez polskie przepisy sanitarne, zbliżone do ustaleń Unii Europejskiej. Problem wdrożenia tych ustaleń nurtuje od przeszło dwóch lat także wielu wodociągowców z krajów UE. Podkreśla się tam celowość i efektywność systemu „multibariera”. Zauważyć można, że wiele uwagi poświęca się eliminacji z wody cyst *Cryptosporidium parvum* przyjmując, że pasożyt ten może często pełnić rolę wskaźnika wiodącego w całym procesie gospodarowania jakością wody. Charakterystykę i zagrożenia, jakie mogą stanowić choroby przenoszone przez znajdujące się w wodzie do picia wirusy, bakterie, i pierwotniaki podano w pracy [7]. Przedstawiono tam także możliwości i zasady eliminacji pierwotniaków w trakcie procesów uzdatniania wody.

System „multibariera” wydaje się być szczególnie przydatny, gdy występuje konieczność usuwania tzw. zanieczyszczeń trudnych lub stanowiących szczególne zagrożenie. Pierwotniak *Cryptosporidium parvum* należy do takich. Przyjmuje się, że w krajach europejskich pasożyty *Giardia lamblia* są wprowadzane do wód głównie przez ścieki, a *Cryptosporidium parvum* przez zanieczyszczenia rozproszone [11]. Stosując zasadę prewencji należy zminimalizować stopień zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez zapewnienie odpowiednio wysokiego stopnia oczyszczania ścieków i skuteczną ochronę powierzchni ziemi. Te fakty uzasadniają zaliczenie do systemu „multibariera” zarówno obszaru zlewni zasilającej ujęcia wody, jak i zakresu oczyszczania ścieków oraz innych czynników mających istotny bezpośredni lub

pośredni wpływ na jakość ujmowanych wód. Zatem dla wodociągu korzystającego z ujęcia wody powierzchniowej system „multibariera” ma następujące części (podsystemy) [2,3]:

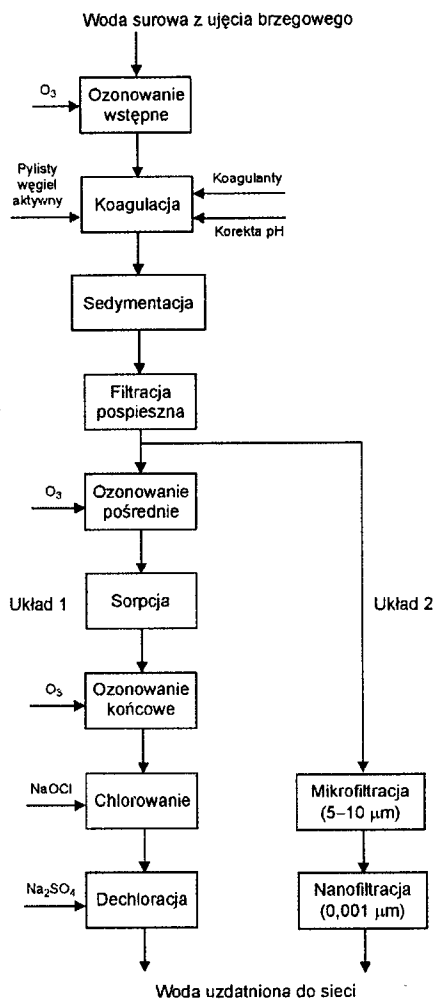
- zlewnia rzeki powyżej ujęcia wody,
- rzeka, z której ujmuje się wodę, a w wypadku, gdy jest spiętrzona zaporą, także zbiornik retencyjny wraz z dopływami i urządzeniami do ochrony wód (oczyszczalnie ścieków, wód opadowych, wstępne zbiorniki zaporowe itp.),
- urządzenia do oczyszczania wody,
- układ dystrybucji wody (pompownie, sieć, zbiorniki).

Każda część (podsystem) składa się z wielu elementów (obiektów, urządzeń). W tabeli 1 przedstawiono próbę syntetycznego zestawienia ważniejszych elementów, które mogą należeć do systemu „multibariera” dla ujęcia wody ze zbiornika zaporowego. Niektóre z nich mogą być wykorzystywane alternatywnie (rys. 1).

Tabela 1. Ważniejsze elementy systemu „multibariera” [2–4]

„Bariera”	Zadania
Ochrona zasobów wody	Gospodarka w zlewni na zasadach ekorozwoju
Ochrona ujęcia wody	Przy wykorzystywaniu wód stojących zapewnienie odpowiedniej jakości wody w dopytach bezpośrednich i w zbiorniku
Koagulacja zoptymalizowana, ew. sorpcja na pylistym węglu aktywnym	Eliminacja substancji organicznych, prekursorów THM, pierwotniaków <i>G. lamblia</i> i <i>C. parvum</i> oraz cząstek stałych wraz z zglomerowanymi bakteriami
Ozonowanie	Poprawa procesu klarowania i filtracji, obniżenie stężeń prekursorów THM, działanie bakteriobójcze i wirusobójcze, inaktywacja pierwotniaków pasożytniczych
Sorpcja na ziarnistym węglu aktywnym	Poprawa smaku i zapachu wody, eliminacja zanieczyszczeń, rozkład biologiczny substancji organicznych, stabilizacja biologiczna wody w sieci wodociągowej
Ozonowanie + sorpcja na ziarnistym węglu aktywnym	Eliminacja substancji organicznych rozkładanych biologicznie, stabilizacja biologiczna wody w sieci wodociągowej, zmniejszenie stężeń chloru pozostałego w sieci i produktów ubocznych chlorowania, inaktywacja pierwotniaków pasożytniczych, wirusów i bakterii, obniżenie intensywności barwy, smaku i zapachu wody, usunięcie mikrozanieczyszczeń
Mikrofiltracja i ultrafiltracja	Stabilizacja mętności oczyszczonej wody niezależnie od jakości surowca, całkowite usunięcie zawieszin, usunięcie bakterii i pasożytów oraz resztek substancji dodanych do wody (Al, Fe)

W tabeli 1 nie wyodrębniono osadników oraz filtrów pospiesznych i powolnych, których rola jest ogólnie znana. Oprócz tego jest wiele urządzeń zblokowanych wzdłuż wielofunkcyjnych, spełniających równocześnie funkcję sedymentacji (w określonych granicach) i filtracji. Przyjmowana dolna granica cząstek zatrzymywanych w złożach filtrów pospiesznych jest podawana na ogół w przedziale 5+30 μm . Efektywność filtrów może być zwiększona przez uprzednie stosowanie koagulacji lub flokulacji. Efektywność zatrzymywania cząstek w złożu filtracyjnym jest różna w kolejnych fazach cyklu, przy czym jest mniejsza bezpośrednio po płukaniu. Efektywność filtrów powolnych jest w tym zakresie wyższa niż pospiesznych, np. stwierdzono zatrzymywanie cyst *Giardia lamblia* w 100% [7].



Rys. 1. Schemat technologiczny stacji uzdatniania wody Mery-sur-Oise (1993 r.)

Przykłady systemu „multibariera”

Zaleca się wykorzystanie wszystkich możliwości zmniejszenia stopnia zakażeń i zanieczyszczeń wody już w pierwszych etapach układu technologicznego oczyszczania, a nawet jeszcze przed jej ujęciem. Należą do nich starania o zmniejszenie przyczyn zanieczyszczenia wód (sposób zagospodarowania i wykorzystania zlewni). Szczególną uwagę poświęca się ochronie zbiorników zaporowych, przeznaczonych do celów wodociągowych, uważając to za ważną barierę higieniczno-sanitarną [6]. Zwraca się uwagę, aby przy ustalaniu stopnia oczyszczania ścieków – w razie potrzeby – wykluczyć lub ograniczyć do minimum skażenia chorobotwórcze powodowane przez ścieki wprowadzane do wód [5] obok innych składników, np. substancji biogennych. Najpewniejsze jest zaniechanie odprowadzania ścieków do zbiorników wykorzystywanych do zaopatrzenia w wodę. Jeżeli nie jest to możliwe, stosuje się jako końcowe obiekty nowoczesnych oczyszczalni ścieków urządzenia do flokulacji i filtracji.

W roku 1997 oczyszczono w ten sposób 89% ścieków wprowadzonych do Jeziora Zuryskiego, skąd ujmuje się wodę na cele wodociągowe. Po zastosowaniu wysoce efektywnych sposobów oczyszczania wody, tworzących wraz z urządzeniami do ochrony wód wspólny system „multibariera”, woda jest tłoczona do sieci bez dezynfekcji końcowej [8].

Rzeka Ruhr (RFN) jest odbiornikiem ścieków od około 3700 tys. równoważnych mieszkańców. Z niej także pobiera się wodę do celów wodociągowych dla około 5100 tys. mieszkańców. Stopień zagospodarowania i wykorzystania zarówno zlewni jak i rzeki jest bardzo wysoki (intensywna urbanizacja, rozbudowane niektóre gałęzie przemysłu, setki kilometrów autostrad). W roku 2000 pobrano z rzeki wodę do zaopatrzenia ludności i przemysłu w ilości około 1,4 mln m³/d, tj. 16,7 m³/s. Ochronę wód rzeki Ruhr zapewnia 89 mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków (100% stanu), przy czym aż 98,7% z nich ma jeszcze dodatkowe urządzenia technologiczne. Oprócz tego w zlewni rzeki działa 489 urządzeń do oczyszczania ścieków deszczowych o łącznej pojemności 556 tys. m³ [9]. Jakość wody w rzece jest dobra i stale się poprawia. Mimo to, wobec faktu, że rzeka Ruhr jest odbiornikiem ścieków, stacje wodociągowe stosują jako ostatni stopień oczyszczania wody filtrację przez warstwę gruntu (tzw. sztuczna woda podziemna).

W pewnych warunkach zbiorniki retencyjne mogą wywierać korzystny wpływ na jakość przepływającej wody, a w szczególności na eliminację pierwotniaków *Giardia lamblia* i *Cryptosporidium parvum*. Przykładem tego może być zespół trzech sztucznych, szeregowo połączonych zbiorników Biesbosch, do których jest pompowana woda z rzeki Mozy. Obiekty te są elementem systemu zaopatrzenia w wodę przeznaczonego bezpośrednio dla 5 mln mieszkańców (Bruksela, Antwerpia, Haga i Rotterdam). Łączna pojemność tych zbiorników wynosi 86 mln m³, przy czym wraz z biegiem wody są one coraz mniejsze. Czasy przepływu wynoszą odpowiednio 11 oraz 9 i 4 tygodnie, przy średniej głębokości zbiorników 13,0 m oraz 15,0 m i 13,0 m. Zbiorniki te zawierają rezerwę asekuracyjną wody na okresy niskich przepływów rzeki oraz w razie konieczności wyłączenia poboru z rzeki. Następuje to np. przy zawartości azotu amonowego >1,2 gN/m³, mętności >75 FTU, a także w wypadku awaryjnych zanieczyszczeń wody, np. pestycydami. Awaryjne wyłączenia występują kilka razy w roku i trwają od 1 do 23 dób.

W rezultacie przepływu wody przez szeregowo połączone zbiorniki następuje wyrównanie jej jakości, a także wyraźne zmniejszenie stężeń różnych substancji. Określenie stopnia obniżenia stężeń substancji umożliwia wzór, uwzględniający specyfikę warunków hydraulicznych i układ szeregowy składający się z n przedziałów:

$$C_o = C_d \left(1 + k \frac{T}{n} \right)^{-n} \quad (1)$$

w którym:

C_o – stężenie substancji w odpływie, g/m³

C_d – stężenie substancji w dopływie, g/m³

k – stała reakcji, 1/d

T – czas przepływu przez wszystkie zbiorniki, d

Wartości stałej k , określone w wyniku przeprowadzonych badań, przykładowo wynosiły: dla nityfikacji azotu amonowego $k=0,018$ 1/d, dla fotolizy benzo(a)pirenu $k=0,06$ 1/d, dla eliminacji enterowirusów $k=0,13$ 1/d, a *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia* $k=0,07$ 1/d. Należy podkreślić, że zbiorniki te stanowią wyraźną barierę higieniczną także dla pierwotniaków i wirusów [6].

Obecność cyst *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia* w wodach Mozy i odpływie z ostatniego zbiornika Biesbosch była przedmiotem odrębnych badań [10], których syntetyczne wyniki zestawiono w tabeli 2. Badania te wykazały, że liczba

Tabela 2. Obecność cyst pierwotniaków w wodach Mozy i w odpływie z ostatniego zbiornika Biesbosch

Wyszczególnienie	<i>Cryptosporidium parvum</i>		<i>Giardia lamblia</i>	
	Moza	Biesbosch	Moza	Biesbosch
Liczba próbek	52	52	52	52
W tym pozytywn., %	11,5	5,8	59,6	17,3
Śr. licz., org./dm ³	0,001	0,00004	0,0852	0,0004
Pozostało, %	–	0,7	–	8,7

cyst *Cryptosporidium parvum* w wodach rzeki była 12-krotnie niższa niż *Giardia lamblia*. Także rozkład występowania tych pierwotniaków w czasie był odmienny. Pierwotniak *C. parvum* pojawiał się zwykle w pierwszych miesiącach roku, natomiast *G. lamblia* – także w jesieni. W ostatnim ze zbiorników oba pierwotniaki występowały dość równomiernie przez cały rok. Należy zwrócić także uwagę na możliwość zanieczyszczenia wody przez ssaki i ptactwo wodne [10]. Dodać trzeba, że istniejący tu układ wysokościowy (zbiorniki depozycyjne napelniane przez pompowanie) praktycznie wyklucza możliwość dodatkowego – zewnętrznego – skażenia wody w obrębie zlewni bezpośredniej zbiornika. Jest to zatem przypadek specyficzny.

Jako ilustrację odmiennego podejścia, innych rozwiązań, a także przeciwnych rezultatów podać można dwa duże miasta położone nad jeziorem Michigan (USA), tj. Chicago i Milwaukee [5,6,8], które pobierają wodę z tego jeziora. Przed rokiem 1900 występowały w obu miastach zachorowania na cholera i tyfus, przy czym więcej zachorowań odnotowano w Chicago. W roku 1910 wprowadzono chlorowanie wody, co jednak nie zapobiegło epidemii tyfusu, która wystąpiła w 1916 r. w obu miastach. W roku 1930 podłączono wszystkie części Chicago do kanału odprowadzającego ścieki do rzeki Missisipi, z pominięciem jeziora Michigan. W tym samym roku wybudowano dla obu miast stacje oczyszczania wody. Po roku 1916 nie wystąpiły już w Chicago przypadki chorób układu pokarmowego, natomiast w Milwaukee miały miejsce takie wydarzenia jeszcze w latach 1936 i 1938, a w roku 1993 zachorowało na skutek skażenia wody wodociągowej pasażerem *Cryptosporidium parvum* aż 403 tys. osób. Analiza tego przypadku przedstawiona w pracy [7] jest bardzo ważna i pouczająca z szeregu przyczyn, między innymi potwierdza pośrednio słuszność stosowania systemu „multibariera”. W okresie poprzedzającym wybuch zachorowań (5–28 luty 1993 r.) wystąpiły bardzo wysokie opady. Podwyższone przepływy w kanalizacji ominęły oczyszczalnię ścieków, dostały się do jeziora Michigan, na skutek czego nastąpiło skażenie ujmowanej wody [5,7]. Obie stacje wodociągowe dostarczające wodę do Milwaukee podawały w tym czasie wodę o odmiennej jakości, co ilustruje tabela 3 [5]. Mętność wody przefiltrowanej była wyraźnie wyższa w stacji Howard. Epidemia wywołana przez *Cryptosporidium parvum* wystąpiła tylko w części miasta Milwaukee zasilanej przez tę stację [11]. Jak wynika z wielu prac, wybuch epidemii nie był spowodowany tylko zanieczyszczeniem ujmowanej wody pasożytami *Cryptosporidium parvum*. Układ technologiczny oczyszczania wody przewidywał dawkowanie chloru, koagulację polichlorkiem glinu (od niedawna), sedimentację oraz filtrację pospieszną na złożach piaszkowych, płukanych wodą czystą, przy czym wody popłuczne zwracano na początek układu. Z powodu braku polichlorku glinu, od 2 kwietnia 1993 r. powrócono do stosowania siarczanu glinu. Kilka dni później wystąpił skokowy wzrost mętności oczyszczonej wody.

Tabela 3. Mętność wody dostarczanej do Milwaukee przez stacje wodociągowe Linnwood i Howard [5]

Stacja wodociągowa	Luty/Marzec 1993 r.				Czerwiec/Lipiec 1993 r.			
	woda surowa, NTU		filtrat, NTU		woda surowa, NTU		filtrat, NTU	
	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.
Linnwood	–	42	0,01	0,08	0,5	20	0,01	0,08
Howard	–	100	0,05	2,6	0,5	20	0,01	0,45

Tabela 4. Zestawienie przypadków liczniejszych zachorowań w Stanach Zjednoczonych (USA) i Wielkiej Brytanii (GB) [11]

Rok	Miejscowość	Liczba mieszkańców		Rodzaj wady	Oczyszczanie wody	Przyczyna
		ogółem	chorych			
1984	Bruan Station, USA	5900	2006	podziemna	chlorowanie	zanieczyszczenie ujęcia ściekami
1987	Carrollton, USA	3240	12960	powierzchniowa	konwencjonalne*	niewystarczające oczyszczanie**
1992	Jackson, USA	160000	15000	źródłana	chlorowanie	niewystarczające oczyszczanie**
1993	Milwaukee, USA	1600000	403000	powierzchniowa	konwencjonalne*	niewystarczające oczyszczanie**
1989	Swindon Oxfordshire, GB	741092	516	powierzchniowa	konwencjonalne*	zawracanie wód popłucznych, odchody bydłęce
1990/1991	Isle of Thanet, GB	177300	47	powierzchniowa	konwencjonalne*	niewystarczające oczyszczanie**
1999	Casmera, GB	–	360	powierzchniowa	mikrosita+chlorow.	niewystarczające oczyszczanie**

* Konwencjonalne oczyszczanie wody: koagulacja, filtracja i dezynfekcja

** Niewystarczające oczyszczanie oznacza brak jednego lub więcej etapów oczyszczania konwencjonalnego

Urządzenia do automatycznego dawkowania koagulantu nie mogły być wykorzystywane, gdyż mętnościomierz był nieczynny. Oznaczanie mętności i ewentualną korektę dawki wykonywano co 8 godz. Jako przyczynę wystąpienia zakażenia oczyszczonej wody podano niewłaściwie oczyszczanie [11]. Przy konwencjonalnych filtrach pospiesznych, tylko przy wysokiej efektywności układu koagulacji i flokulacji, istnieje możliwość usunięcia z wody cząstek o małych wymiarach. W Milwaukee warunku tego (w każdym razie okresowo) nie spełniono. Zabrakło zatem bariery powstrzymującej pierwotniaki. Nie jest także znana prawidłowość postępowania personelu eksploatacyjnego.

W literaturze opisano szereg innych przypadków wystąpień zachorowań spowodowanych pojawieniem się *Cryptosporidium parvum* w Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii [11]. W tabeli 4 zestawiono wybrane obiekty, dla których był dostępny dostatecznie szeroki zakres informacji. Przypuszczać można, że w kilku wypadkach przypisano chlorowaniu wody wręcz nierealne zadania technologiczne. Trudno osądzić, czy było to działanie świadome, czy wynikające z przypadku. I tu zabrakło systemu „multibariera”.

Możliwości zwiększenia stopnia oczyszczania wody

Wiadomo, że cysty *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia* nie są eliminowane podczas normalnej dezynfekcji wody [7]. Warunki potrzebne do ich eliminacji podano w tabeli 5, wykorzystując dane zawarte w pracach [7,11,12]. Przy

czasie kontaktu 30 min stężenie wolnego chloru, zapewniające 99% inaktywację *Cryptosporidium parvum* ($pH=7$, temp. 20 °C), wynosi 240 gCl₂/m³, a dwutlenku chloru 2,6 gClO₂/m³. Potrzebne stężenie ozonu, przy czasie kontaktu 15 min, wynosi 0,3+0,7 gO₃/m³. Wartości te potwierdzają celowość stosowania ozonu do eliminacji *Cryptosporidium parvum* [11], oczywiście nie jako jednego środka.

Wykorzystanie (zawracanie) wód popłucznych jest uwarunkowane ich dodatkowym oczyszczeniem i bieżącą kontrolą jakości [5]. Zaleca się oprócz tego dezynfekcję zawracanych wód oraz zwraca uwagę na zagrożenie mikrobiologiczne, jakie stwarza osad zatrzymany w osadnikach, a dodawany do wody surowej dla zwiększenia efektów oczyszczania [13]. Istotne i pozytywne znaczenie może mieć także odprowadzanie poza normalny ciąg technologiczny wody przefiltrowanej, przez pewien czas po płukaniu złóż (spust pierwszego filtratu). Jakość wody przefiltrowanej powinna być kontrolowana w każdej komorze. Badania, także symulacyjne, potwierdzają istotny wpływ jakości wody surowej, tj. poziomu skażeń bakteriologicznych oraz domieszek organicznych na kinetykę i efekt dezynfekcji wody [14]. Zapewnienie odpowiednio wysokiej jakości wody jeszcze przed dezynfekcją jest warunkiem koniecznym. Może to nastąpić np. według zasad przedstawionych na rysunku 1.

Układ 1: po koagulacji, sedymentacji, filtracji pospiesznej przewiduje się ozonowanie i sorpcję na ziarnistym węglu aktywnym oraz końcową dezynfekcję. Istnieje wiele odmian tego układu, między innymi dawkowanie ozonu w kilku punktach, zastosowanie filtrów powolnych po filtrach pospiesznych, korekty pH itp.

Tabela 5. Wartości iloczynu c·T niezbędne do inaktywacji 99% mikroorganizmów [7,11,12]

Mikroorganizm	Chlor (pH=6+7)	Chloramina (pH=8+9)	Dwutlenek chloru (pH=6+7)	Ozon (pH=6+7)	Wymiary μm
<i>Escherichia coli</i>	0,034+0,05	95+180	0,4+0,75	0,02	0,5+1,5
<i>Pollomyelittisvirus</i>	1,1+2,5	768+3740	0,2+6,7	0,1+0,2	–
<i>Reoviridae</i> (rotawirusy)	0,01+0,05	3806+6476	0,2+2,1	0,006+0,06	–
Bakteriofag f2	0,08+0,18	–	–	–	0,025
<i>Giardia lamblia</i>	47+150	2200	26	0,05+0,6	10+18
<i>Cryptosporidium parvum</i>	7200	7200	78	5+10	2,0+4,7

c – dawka, g/m³, T – czas kontaktu, min

Układ 2: po koagulacji, sedymentacji i filtracji pospiesznej przewiduje się mikrofiltrację (0,1 µm), ultrafiltrację (0,02 µm) lub nanofiltrację (0,001 µm). Dezynfekcja wody jest wówczas zbędna. Może być potrzebne jedynie okresowe dezynfekowanie sieci.

Układ 1 jest ogólnie znany, stosowany od około 35 lat. Przykładem stosowania drugiego układu jest w Europie francuska stacja uzdatniania wody dla północnych obrzeży Paryża, tj. Mery-sur-Oise. Jej wydajność wynosi około 140 tys. m³/d, a realizacja była poprzedzona kilkuletnią eksploatacją stacji doświadczalnej o wydajności 1700 m³/d [15].

W Niemczech także docenia się zalety metod membranowych. Obecnie czynnych jest 10 stacji pilotujących oraz kilka stacji w skali technicznej (wydajność największej 140 m³/h). Przeznaczone są one do usuwania z wody głównie mętności i mikroorganizmów. Zaawansowane są prace badawcze prowadzone dla stacji o wydajności 6000 m³/h ujmującej wodę z jeziora zaporowego. Wydajność stacji doświadczalnej wynosi 180 m³/h, a jej program badawczy jest bardzo rozbudowany i ma trwać kilka lat. W obiektach tych przewiduje się zastosowanie membran nowej generacji, wymagających znacznie niższego ciśnienia niż dawniejsze rozwiązania [12]. Ta właściwość powoduje poprawę wskaźników ekonomicznych procesu. Zastosowanie technik membranowych jest przez wielu specjalistów uważane za bardzo atrakcyjny kierunek rozwojowy, także w systemie „multibariera”.

Kryterium wystarczającego stopnia oczyszczania wody uważa się za spełnione między innymi wówczas, gdy w wodzie przed dezynfekcją brak wskaźników jakościowych świadczących o skażeniu wody fekaliami oraz gdy liczba kolonii bakterii w 1 cm³ wody wynosi poniżej 100 [5,7].

Od kilku lat wiele uwagi poświęca się zagadnieniom ryzyka, jakie stanowić może woda oczyszczona w niewystarczającym stopniu, a wprowadzona do miejskiej sieci wodociągowej [16,17]. Do oceny ryzyka proponuje się wykorzystanie różnych sposobów. Bardziej precyzyjne wymagają dysponowania zbiorem danych, który umożliwia zastosowanie metod probabilistycznych. Dane takie zostały przygotowane i stanowiły podstawę do opracowania wzoru, przy pomocy którego można oszacować poziom ryzyka (P) zakażeniem *Cryptosporidium parvum* dla warunków występujących w Milwaukee zakładając przy tym, że człowiek wypija dwa litry wody dziennie:

$$P = 1 - \exp(-rN) \quad (2)$$

Dla czasu ekspozycji $N=10$ d i stałej $r=0,00467$ (dla poziomu ufności 95% $r=0,00195+0,0097$) poziom ryzyka $P=0,047$ (4,7%). Poziom ryzyka zatem wielokrotnie przekracza poziom zawodności funkcjonalnej urządzeń [16]. Jest to jeszcze jednym argumentem za stosowaniem systemu „multibariera”, który uwzględni wszystkie przyczyny zagrożeń.

Podsumowanie

Zaopatrzenie w wodę, zapewniające wysoki poziom bezpieczeństwa, co jest zbliżone do niskiego poziomu ryzyka, wymaga wielu działań i przedsięwzięć. Problem zapewnienia odpowiedniej jakości wody do picia rozpoczyna się wcześniej, już przy odprowadzaniu ścieków i zanieczyszczeniu powierzchni zlewni zasilającej ujęcie wody. Obiekty wodociągowe

znajdują się na końcu długiej listy czynników decydujących o jakości wody. Ich możliwości technologiczne muszą być dostosowane do warunków, w jakich działają. Istotne znaczenie ma jakość wody surowej i wymagania dotyczące jakości wody oczyszczonej. Zestaw „barier” zatrzymujących zanieczyszczenia wody, to elementy rozległego systemu „multibariera”, który musi być zrealizowany i eksploatowany w celu zmniejszenia ryzyka zagrożenia zdrowia osób korzystających z wody wodociągowej.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. w sprawie warunków, jakimi powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach zasad sprawowania kontroli jakości wody przez Organy Inspekcji Sanitarnej. Dz. U. nr 82, poz. 937.
2. W. SUCH: Ressourcenschutz für Trinkwassertalsperren, GWF Wasser-Abwasser, 2000, Nr. 13, S. 74–81.
3. H. BRACKEMANN: Strukturenentwicklung in der Wasserwirtschaft. Erreichtes sichern und nachhaltige Entwicklung ermöglichen. GWF Wasser-Abwasser, 2001, Nr. 13, S. 20–26.
4. M. M. BOURBIGOT: Contraintes et contradictions de la desinfection. Point Sciences et Techniques, 1995, Vol. 6, No. 2, pp. 14–16.
5. D. SCHOENEN: Analyse und Bewertung trinkwasserbedingter Erkrankungen durch Parasiten. GWF Wasser-Abwasser, 2001, Nr. 13, S. 58–67.
6. G. OSKAM: Main principles of water-quality improvement in reservoirs. Journal Water SRT – Aqua, 1995, Vol. 44, Supplement 1, pp. 23–29.
7. A. L. KOWAL: Pasożyty – zagrożenie publicznego zaopatrzenia w wodę. Ochrona Środowiska, 1995, nr 2(57), ss. 3–5.
8. H. P. KLEIN, R. FORSTER: Network operation without safety chlorination in Zürich. Journal Water SRT – Aqua, 1999, Vol. 48, No. 2, pp. 53–58.
9. Ruhrverband. Geschäftsbericht 2000. Essen 2000.
10. H. A. M. KETELAAR et al.: Occurrence of *Cryptosporidium* oocyst and *Giardia* cyst in the River Meuse and removal in the Biesbosch reservoirs. Journal Water SRT – Aqua, 1995, Vol. 44, Supplement 1, pp. 108–111.
11. J. T. LISLE, J. B. ROSE: *Cryptosporidium* contamination of water in the USA and UK: a mini-review. Journal Water SRT – Aqua, 1995, Vol. 44, No. 3, pp. 103–117.
12. S. PANGLISCH, R. GIMBEL: Die Membranfiltration bei der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland. GWF Wasser-Abwasser, 2001, Nr. 13, S. 78–87.
13. S. KAWAMURA: Optimization of basic water-treatment processes design and operation: coagulation and flocculation. Journal Water SRT – Aqua, 1996, Vol. 45, No. 1, pp. 1–12.
14. T. M. TRACZEWSKA, B. KOŁWZAN, A. M. DZIUBEK: Ocena skuteczności dezynfekcji wód powierzchniowych. Ochrona Środowiska, 1997, nr 4(67), ss. 47–49.
15. Mery-sur-Oise. Waterworks, Syndicat des Eaux D’ille-de-France.
16. A. WIECZYSTY, J. RAK: Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę w aspekcie wymagań jakościowych. Ochrona Środowiska, 1995, nr 1(56), ss. 5–9.
17. E. S. KEMPA: Analiza ryzyka w systemach oczyszczaniach wód. Ochrona Środowiska, 1993, nr 3(50), ss. 5–10.

Multi-Barrier – A System Reducing the Risk of Low-Quality Water Supply

*The major parameters and components of the system (as well as the method of functioning) are specified. Adopting the presence of *Cryptosporidium parvum* cysts as a water quality indicator, positive and negative effects of eliminating this protozoon are discussed. Examples of objects that meet*

the principles of the Multi-Barrier system are analysed, particular consideration being given to the risk created by the said parasite in some water supply systems which do not fulfil the Multi-Barrier criteria.