

Apolinary L. Kowal, Zbigniew Łepkowski

Usuwanie mikroorganizmów na drodze klarowania i filtracji w niektórych wodociągach w Polsce

Około połowa wody ujmowanej na cele zaopatrzenia ludności w Polsce – z ogólnej ilości około $3 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ – pochodzi z ujęć powierzchniowych, tj. rzek i zbiorników zaporowych [1]. Z tej ilości zaledwie kilka procent jest poddawane sztucznej infiltracji przez stawy infiltracyjne lub drenażowe ujęcia ułożone pod dnem rzek (Warszawa, Poznań, Wrocław, Legnica). Wody powierzchniowe w środkowych i dolnych biegach rzek są silnie zeutrofizowane i wykazują oznaki wtórnego zanieczyszczenia, objawiającego się głównie podwyższoną liczbą glonów i bakterii. Obowiązujące w Polsce przepisy [2] zezwalają na ujmowanie wody dla zaopatrzenia ludności z zasobów wód powierzchniowych należących do I klasy czystości. W rzeczywistości przepis ten nie jest przestrzegany, gdyż tylko około 5% wód należy do tej klasy, zaś pozostałe znajdują się w II lub III klasie czystości, bądź są nawet pozaklasowe. W tabeli 1 zestawiono zawartość fitoplanktonu w wodach kilku rzek i zbiorników zaporowych, stanowiących źródło wody dla zaopatrzenia ludności. W wielu zakładach wodociągowych ujmujących wody powierzchniowe glony są oznaczane tylko w wodzie surowej, natomiast nie są oznaczane w wodzie uzdatnionej. Dla zobrazowania problemu obecności mikroorganizmów w ujmowanych wodach omówiono przykłady kilku charakterystycznych układów oczyszczania wód.

Tabela 1. Zawartość fitoplanktonu w wodach ujmowanych do celów komunalnych

Źródło wody	Liczebność fitoplanktonu org./cm ³		
	min.	śr.	maks.
Wisła w Warszawie, 1994	–	31.600	197.800
Odra w Szczecinie, 1991–1995	1.275	13.450	72.700
Zbiornik Zegrzyński, 1992–1994	–	17.300	103.100
Zbiornik Zegrzyński, 1994	–	12.650	55.154
Zbiornik Dzieńkowice, 1986–1988	440	10.000	73.900
Zbiornik Goczałkowice, 1981–1990	89	429	2.013

Występowanie mikroorganizmów w ujmowanych wodach

W wodach Wisły, w przekroju ujęcia dla Wodociągu Centralnego w Warszawie, stwierdzono w 1994 r. znaczne przekroczenia zawartości glonów i bakterii (tab.2). Jakkolwiek

miano *coli* powinno wynosić $>1,0$, to w rzeczywistości wody Wisły, z uwagi na ten wskaźnik, można zaliczyć do III klasy czystości lub nawet do wód pozaklasowych. Wody ujmowane bezpośrednio z Wisły są następnie oczyszczane w układzie: koagulacja, sedymentacja i filtracja pospieszna, po której część wody jest dodatkowo oczyszczana na filtrach powolnych. Całość wody jest dezynfekowana chlorem przed zbiornikami wody czystej. Ilość oczyszczanej w ten sposób wody w Wodociągu Centralnym wynosi około 600 tys.m³/d. Woda oddawana do sieci wodociągowej odpowiada przepisom sanitarnym. W tej części wody, która jest doczyszczana w układzie filtrów powolnych obserwuje się poprawę smaku, zapachu oraz obniżenie barwy, utlenialności, absorbancji i azotu amonowego.

Dla części Warszawy Wodociąg Praski ujmuje wodę w ilości około 150 tys.m³/d drenażem spod dna Wisły. Wody z ujęcia poddenne nie zawierają praktycznie glonów, a liczebność bakterii w latach 1992–1994 była znacznie niższa niż w wodzie wiślanej (tab.3). Wynika stąd, że infiltracja poddenna zmniejsza bardzo istotnie zawartość bakterii w wodzie, a skuteczność usuwania bakterii *coli* wynosząca $>99,9\%$ jest porównywalna ze skutecznością filtracji powolnej. Woda po infiltracji poddennej jest oczyszczana w układzie złożonym z napowietrzania, filtracji pospiesznej oraz dezynfekcji chlorem. Woda oddawana do sieci wodociągowej spełnia wymagania polskich przepisów. Jednak okresowo, w czasie oblodzenia rzeki, przekraczane jest dopuszczalne stężenie azotu amonowego.

W trzecim ujęciu dla Warszawy woda jest pobierana z Zalewu Zegrzyńskiego zasilanego przez Bug i Narew. Jest to tzw. Wodociąg Północny, który ujmuje i oczyszcza wodę w ilości do 150 tys.m³/d. Woda w zbiorniku ma okresowo wysoką barwę, podwyższoną zawartość azotu amonowego i związków organicznych (BZT₅) oraz fosforu wskazującego na podatność na eutrofizację. Liczebność glonów i bakterii w wodzie zbiornika w 1994 r. zestawiono w tabeli 4. Ujmowana woda po przejściu przez zbiorniki wstępne o czasie przepływu >24 h jest utleniana ozonem, a następnie koagulowana siarczanem glinu w pulsatorach, filtrowana na filtrach pospiesznych i ostatecznie chlorowana przed zbiornikami wody czystej. Upřednio woda była wstępnie utleniana chlorem przed zbiornikami wstępnymi, czego poniechano wskutek znacznego przekroczenia stężeń THM-ów, w tym chloroformu. W fazie projektowania jest układ ozonowania i sorpcji na filtrach węglowych, co było założone w początkowych planach zakładu. Ma to na celu obniżenie poziomu związków organicznych oraz poprawę smaku i zapachu wody. Chodzi również o obniżenie stężeń THM-ów w wodzie uzdatnionej, bowiem woda surowa ma wysoki potencjał tworzenia

Tabela 2. Występowanie glonów i bakterii w wodzie ujmowanej przez Wodociąg Centralny

Wskaźnik, jednostka	Wartości		
	średnie	maksymalne	dopuszczalne w wodzie do picia
Fitoplankton, org./cm ³	31.600	197.800	0
Liczba kolonii bakterii w 1 cm ³ wody w temp. 20 °C w temp. 37 °C	6.460	85.000	50
	4.721	64.000	10
Liczba bakterii grupy <i>coli</i> w 100 cm ³ wody	17.141	240.000	0
Liczba bakterii grupy <i>coli</i> typu kałowego w 100 cm ³ wody	15.145	240.000	0

Tabela 3. Występowanie glonów i bakterii w wodzie ujmowanej przez Wodociąg Praski

Wskaźnik, jednostka	W Wiśle		Po infiltracji			
	śr.	maks.	śr.	usuw., %	maks.	usuw., %
Liczba kolonii bakterii w 1 cm ³ wody w temp. 20 °C w temp. 37 °C	5.570	85.000	94	98,3	3.200	96,2
	3.368	64.000	49	98,5	1.920	97,0
Liczba bakterii grupy <i>coli</i> w 100 cm ³ wody	15.145	240.000	9	94,94	18	99,99
Liczba bakterii grupy <i>coli</i> typu kałowego w 100 cm ³ wody	7.700	240.000	–	–	–	–

Tabela 4. Występowanie glonów i bakterii w wodzie ujmowanej przez Wodociąg Północny

Wskaźnik, jednostka	Wartości	
	minimalne	maksymalne
Fitoplankton, org./cm ³	12.650	55.154
Liczba kolonii bakterii w 1 cm ³ wody w temp. 20 °C w temp. 37 °C	12.736	448.000
	817	31.400
Liczba bakterii grupy <i>coli</i> w 100 cm ³ wody	4.299	240.000
Chlorofil, µg/dm ³	34,6	138,5

tych związków. Woda oddawana do sieci wodociągowej spełnia wymagania przepisów. Stwierdza się jednak obecność małej ilości glonów w oczyszczonej wodzie oddawanej do sieci. Układ koagulacji w pulsatorach i filtracji pospiesznej daje wodę o mętności znacznie poniżej wielkości dopuszczalnej. Woda nie jest badana na obecność pasożytów, a przepisy nie stawiają dotychczas takich wymagań.

Usuwanie mikroorganizmów z wód

Badania nad efektywnością usuwania glonów w procesach koagulacji, sedymentacji i filtracji były prowadzone we wrześniu 1995 r. na stacji pilotowej ujmującej wodę z rzeki Supraśl zaopatrującej Białystok. Wyniki usuwania glonów w tym układzie zawiera tabela 5. Woda była wstępnie chlorowana, koagulowana siarczanem glinu (ok. 100 g/m³) z dodatkiem krzemionki aktywnej (ok. 2,5 g/m³), a następnie przepływała przez pulsator z prędkością około 0,8 mm/s oraz była filtrowana na filtrach pospiesznych z prędkością 6 m/h. Skuteczność usuwania glonów w procesie koagulacji była bardzo wysoka, pomimo to przy zakwitach występowały glony w wodzie po filtrach pospiesznych. Glony nie były wykry-

wane dopiero po filtrach węglowych, których zadaniem było obniżenie stężenia trihalometanów, a głównie chloroformu. Stężenia THM-ów w wodzie surowej przekraczały wartości dopuszczalne, natomiast po filtrach pospiesznych tylko stężenia chloroformu były wyższe od dopuszczalnych, zaś po sorpcji były one znacznie poniżej wartości dopuszczalnych. W wodzie surowej i po filtrach pospiesznych chloroform stanowił około 90% sumy THM-ów, natomiast po filtrach węglowych stanowił około 50% THM-ów, przy stężeniach znacznie poniżej dopuszczalnych.

Zielona Góra ujmuje wodę z Obrzycy, w zlewni której jest wiele jezior. Zlewnia ta ma charakter rolniczy z szeregiem zakładów przetwórstwa rolnego. Woda rzeki odpowiada II i III klasie czystości. Zakwity glonów występują w wodach rzeki i jezior w okresie od kwietnia do września. Liczba organizmów wynosi od 10 tys. do 60 tys. org./cm³. W okresie późnego lata dominują sinice, a woda po chlorowaniu ma intensywny zapach i smak wywołujący narzekania konsumentów. Celem obniżenia liczebności glonów zainstalowano we wrześniu 1994 r. mikrosita, które obniżają ogólną liczebność glonów o około 80% (okrzemek ok. 86,2%, zielenic ok. 81%, sinic ok. 68% oraz detritus w okresie zimy). Po sitach woda

Tabela 5. Efektywność usuwania glonów w procesach koagulacji i filtracji

Woda	Liczebność planktonu, org./cm ³					
	min.	usuw., %	śr.	usuw., %	maks.	usuw., %
Surowa	215	–	2.700	–	16.300	–
Po pulsatorze	20	91,0	175	93,0	395	97,5
Po filtrze	0	100	17	99,4	40	99,7

Tabela 6. Liczebność planktonu w wodzie ujmowanej przez Wodociąg GO-CZA I

Wskaźnik org./cm ³	Woda surowa			Woda uzdatniona					
	min.	śr.	maks.	min.	usuw., %	śr.	usuw., %	maks.	usuw., %
Fitoplankton ogółem	89	429	2.013	7	92,1	154	64,1	1.335	33,7
Okrzemki	23	347	1.192	1	95,6	129	62,8	1.225	–
Zielenice	0	26	471	0	–	9	65,4	281	40,3
Sinice	0	3	201	0	–	1	66,7	73	63,7

Tabela 7. Liczebność planktonu w wodzie ujmowanej przez Wodociąg GO-CZA II

Wskaźnik org./cm ³	Woda surowa			Woda uzdatniona					
	min.	śr.	maks.	min.	usuw., %	śr.	usuw., %	maks.	usuw., %
Fitoplankton ogółem	23	356	2.161	5	78,3	135	62,1	729	66,3
Okrzemki	22	305	2.143	4	81,8	107	64,9	724	66,2
Zielenice	0	15	358	0	–	5	66,7	93	74,0
Sinice	0	2	175	0	–	1	50,0	24	86,3

dopływa na akcelatory, do których dawkowany jest chlorowany siarczan żelaza (II). Chlor jest dawkowany z nadmiarem do punktu przelamania. Następnie woda jest filtrowana na filtrach pospiesznych oraz kolejno na filtrach ze złożem z półspiekanego dolomitu i chlorowana przed zbiornikami wody czystej. Ujmuje się i oczyszcza wodę w ilości około 60 tys. m³/d. W wodzie oczyszczonej nie stwierdzono glonów. Po zastosowaniu mikrosit zmniejszyły się następujące wskaźniki: zużycie chloru i siarczanu żelaza (II), częstotliwość płukania filtrów oraz ilość osadu po procesie koagulacji. Wodociągi w Zielonej Górze są jedynym zakładem stosującym mikrosita w układzie oczyszczania wody w Polsce [4].

Dla zaopatrzenia w wodę Górnego Śląska pobiera się wody ze zbiornika zaporowego Goczałkowice, w rejonie którego pracują dwa zakłady oczyszczania wody (GO-CZA I – 350 tys. m³/d i GO-CZA II – 170 tys. m³/d). Zakład GO-CZA I pobiera wodę ze zbiornika i oczyszcza ją w układzie: zbiornik wstępny, koagulacja siarczanem glinu (szybkie mieszanie, flokulacja), sedymentacja w osadnikach poziomych, filtracja pospieszna, chlorowanie, zbiornik wody czystej. Jakość wody w zakładzie GO-CZA I w latach 1981–1990 zawiera tabela 6. Usuwanie planktonu malało wraz ze wzrostem liczebności organizmów w wodzie surowej, a w przypadku okrzemek nawet dochodziło do przebiccia filtrów i wymywania ich do wody czystej. Dominującymi organizmami były okrzemki, natomiast sinice i zielenice występowały mniej licznie, jakkolwiek były obecne w wodzie oczyszczonej. Niepokojąco niska jest sprawność usuwania glonów z wody w okresach ich zakwitów. W wodzie oczyszczonej stwierdzono również obecność zooplanktonu na poziomie kilkunastu osobników, w okresach zakwitów. Dla zakładu GO-CZA II woda jest pobierana z drugiego ujęcia ze zbiorników „Goczałkowice” i „Czaniec” i oczyszczana w układzie: pulsatory, przed którymi jest dawkowany koagulant, filtry pospieszne, chlorowanie, zbiorniki wody czystej. Przewiduje się ozonowanie wstępne wody dla obu zakładów oraz po połączeniu wód filtrowanych – wspólne ozonowanie pośrednie i sorpcję na filtrach węglowych. Wody z obu zakładów są pompowane przez wspólną pompownię do sieci. Liczebność glonów w wodzie surowej i oczyszczonej w zakładzie GO-CZA II wg badań z lat 1981–1990 zestawiono w tabeli 7. W wodzie surowej i oczyszczonej dominującymi organizmami były okrzemki, podobnie jak w zakładzie GO-CZA I. Poziom usuwania fitoplanktonu w okresie zakwitów był niski i wynosił 66%. W wodzie oczyszczonej występowały sporadycznie organizmy zooplanktonu

tylko w okresie zakwitów. Nieco lepiej były usuwane zielenice i sinice. Poziom usuwania planktonu był istotnie wyższy w zakładzie GO-CZA II niż w zakładzie GO-CZA I. Nie stwierdzono również przebijania organizmów przez filtry pospieszne. Przyczyną zwiększonej liczebności glonów w odpływie z filtrów pospiesznych w zakładzie GO-CZA I była prawdopodobnie niewłaściwa flokulacja w procesie koagulacji, gdyż zwiększonej liczebności glonów w odpływie z filtrów pospiesznych towarzyszył nadmiar glinu w wodzie oczyszczonej (do 1 gAl/m³) w okresie zakwitów. Sprawność usuwania glonów przy ich średniej liczebności była porównywalna w obu zakładach.

Podsumowanie

Przepisy sanitarne nie wymagają analizowania liczebności glonów i pasożytów oraz innych organizmów w wodzie czystej. W badaniach przeprowadzonych na wodociągach niemieckich stwierdzono występowanie pasożytów w wodzie surowej oraz oddawanej do sieci [5], a w analizie dokonanej w Stanach Zjednoczonych wykazano zachorowania wywołane przez wodę do picia aż w 17 stanach [6]. Z tego względu należy uznać za celowe wprowadzenie do przepisów sanitarnych obowiązku oznaczania liczebności glonów w wodzie ujmowanej oraz oddawanej do sieci, a także okresowego badania wody na obecność pasożytów. W praktyce eksploatacyjnej prawie wszystkie większe zakłady wodociągowe ujmujące wody powierzchniowe analizują liczebność glonów w wodzie surowej, a tylko niektóre – również w wodzie uzdatnionej. Ostatnio w jednym z wodociągów stwierdzono obecność nicieni w wodzie w sieci wodociągowej oraz ich namnażanie w filtrach węglowych.

O prawdopodobieństwie występowania pasożytów w wodach oddawanych do sieci wodociągowej można wnosić ze sprawności usuwania glonów w procesach oczyszczania wody. Poszczególne gatunki fitoplanktonu charakteryzują się ogromnym zróżnicowaniem wielkości komórek od 1 μm do 500 μm (nawet do 1.500 μm), a ich objętość waha się w granicach od 1,5 μm³ do 1,5·10⁵ μm³ [7]. Najdrobniejszymi organizmami są sinice, których rozmiary mieszczą się w granicach nawet od 0,7 μm do 7,0 μm, kryptofity o wielkościach od 7 μm do 50 μm oraz eugleniny o rozmiarach od 50 μm do 130 μm. Sinice przechodzą nawet przez złoża filtrów powolnych. Oocysty *Cryptosporidium parvum* mają

rozmiary od 2 μm do 4 μm , a *Giardii lamblia* od 12 μm do 14 μm [3]. Uważa się, że te ostatnie są dobrze zatrzymywane we właściwie prowadzonych procesach koagulacji i filtracji. Ponieważ oospory *C. parvum* mają rozmiary mieszczące się w granicach rozmiarów sinic więc można wnosić, że ich usuwanie jest w najlepszym przypadku zbliżone do sprawności usuwania sinic w procesie oczyszczania wody, czyli zmniejsza ich liczebność lecz nie usuwa ich całkowicie.

LITERATURA

1. Ochrona Środowiska. GUS, Warszawa 1995.
2. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5-11-1991 (Dz.U. nr 116, poz. 503).
3. A.L. KOWAL: Pasożyty – zagrożenie publicznego zaopatrzenia w wodę. Ochrona Środowiska, 1995, nr 2(57), ss. 3–5.
4. J. MARKOWSKI, C. SYMONOWICZ, R. STANISŁAWIAK: Eksploatacja mikrosit w Stacji Uzdatniania Wody w Zawadzie pod Zieloną Górą. Ochrona Środowiska, 1996, nr 1(60), ss. 35–38.
5. P. KARANIS, H.M. SEITZ: Vorkommen und Verbreitung von Giardia und Cryptosporidium im Roh- und Trinkwasser von Oberflächenwasserwerken. GWF, 1966, 2, 94.
6. M.H. KRAMER et.al.: Waterborne disease: 1993 and 1994. Journal AWWA, 1966, No. 3.
7. B. KAWECKA, P.V. ELORANTE: Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych. PWN, Warszawa 1994.
8. Z. ŁEPKOWSKI: Badania mikrobiologiczne ujmowanych wód dla celów wodociągowych. AQUACOMP, Warszawa (praca nie publikowana).

Removal of Microorganisms by Coagulation-Filtration in Some Waterworks in Poland

Some surface-water intakes are analyzed for the presence of different microorganisms. Those analyses, however, fail to include the presence of algae and parasites (Cryptosporidium parvum, Giardia lamblia) in raw or finished water, because relevant regulations are lacking. In fact, finished water often

contains algae, which are only partly removed. It might therefore be expected that the oocyst of Cryptosporidium parvum (which is similar in size to bluegreen algae) enters the distribution system as well.