

Izabela Zimoch

## Celowość zawracania popłuczyn z filtrów pospiesznych w układach oczyszczania wody powierzchniowej

Prawne i rynkowe uwarunkowania funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowych nakładają na nie obowiązek zapewnienia wysokiej jakości wody dostarczanej odbiorcom, przy minimalnej cenie jej sprzedaży. Czynniki te określają konieczność optymalizacji zadań operacyjnych na każdym etapie działania systemu zaopatrzenia w wodę – od ujęcia, poprzez jej oczyszczanie i dystrybucję. Stąd też w Polsce od wielu lat obserwuje się zainteresowanie we wdrażaniu nowych oraz surowco- i energooszczędnych technologii, minimalizujących koszty ponoszone przez zakłady oczyszczania wody i zwiększających skuteczność technologiczną jednostkowych procesów jej oczyszczania.

Podstawowym procesem technologicznym stosowanym w zakładach wodociągowych oczyszczających zarówno wody podziemne, jak i powierzchniowe jest filtracja. W procesie tym okresowo powstają tzw. wody popłuczne (popłuczyny), będące specyficznym rodzajem odpadów technologicznych. Przeciętna ilość wód popłucznych powstających w zakładach wodociągowych stanowi 2÷8% oczyszczanej wody, a w przypadku filtrów Dynasand – około 10% [1–6]. Większe ich ilości mogą wskazywać na nieprawidłową eksploatację stacji filtrów, a w szczególności na błędnie prowadzony proces płukania złóż filtracyjnych [3,4].

Skład popłuczyn ściśle zależy od rodzaju i jakości ujmowanych wód, stosowanych procesów technologicznych i ich skuteczności oraz dawkowanych reagentów chemicznych. Popłuczyny powstające podczas eksploatacji złóż filtracyjnych w oczyszczaniu wód podziemnych charakteryzują się w większości przypadków jednorodnym i stabilnym składem chemicznym z dominacją uwodnionych tlenków żelaza i manganu. Jakość popłuczyn pochodzących z oczyszczania wód powierzchniowych wykazuje natomiast istotne zróżnicowanie, w zależności od pory roku oraz stanu czystości wody w źródle zasilania. W popłuczynach tych stwierdza się obecność zawiesin związków mineralnych, których skład zależy od rodzaju reagentów zastosowanych w procesie oczyszczania, a także obecność bakterii, pierwotniaków, glonów i skorupiaków [7–16].

Sposób zagospodarowania wód popłucznych jest istotnym problemem eksploatacji zakładów oczyszczania wody. Zgodnie z obowiązującymi przepisami [17], wytwarzający odpady jest zobowiązany do poddawania ich odzyskowi oraz ograniczania ich ilości. Najczęściej w praktyce wodociągowej w Polsce gospodarka wodami z płukania filtrów

sprowadza się do osiągnięcia jakości popłuczyn pozwalającej na ich odprowadzenie do środowiska lub kanalizacji zgodnie z obowiązującymi przepisami [18,19]. Praktyka taka może często prowadzi do dużego marnotrawstwa wody. Mając jednak na uwadze względy ekonomiczne i konieczność racjonalnego wykorzystywania zasobów dyspozycyjnych wody, obserwuje się coraz większe zainteresowanie przedsiębiorstw wodociągowych optymalizacją pracy układu filtracyjnego poprzez zwiększenie sprawności ich płukania oraz wdrażanie recyrkulacji popłuczyn do głównego ciągu technologicznego oczyszczania wody. Potwierdzenie wykorzystanie popłuczyn pozwala obniżyć koszty ujmowania wody (pompowanie, opłaty za korzystanie ze środowiska) oraz koszty odprowadzania tych wód do kanalizacji lub środowiska.

### Warunki i zasady zawracania popłuczyn

W krajach Unii Europejskiej, a także w Polsce, brakuje aktów wykonawczych dotyczących zawracania oczyszczonych wód popłucznych do ciągu technologicznego. Z tego też względu istnieje wiele kontrowersyjnych opinii co do potencjalnego zagrożenia skażeniem wody patogenami wprowadzonymi do układu oczyszczania wraz ze strumieniem popłuczyn. W Stanach Zjednoczonych recyrkulacja popłuczyn jest powszechnie stosowanym procesem technologicznym, w pełni uregulowanym przepisami prawnymi [20–25] opartymi na znowelizowanej w 1996 r. przez Kongres USA „Ustawie o bezpiecznej wodzie do picia” (Safety Drinking Water Act – SDWA). Przepisy te powstały po głośnej epidemii w 1993 r. w Milwaukee i jednoznacznie określają zasady i warunki w zakresie bezpiecznego prowadzenia procesu recyrkulacji popłuczyn. Ponadto opublikowany w 1989 r. przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (U.S. EPA) dokument pod nazwą „Surface Water Treatment Rule” narzuca konieczność stosowania technologii oczyszczania, gwarantujących usunięcie z wody cyst *Giardia lamblia* i wirusów odpowiednio na poziomie co najmniej 99,9% (3log) i 99,99% (4log) [26]. We wszystkich tych zasadach i zaleceniach szczególną uwagę poświęca się mikrobiologicznej jakości wody przeznaczonej do spożycia, ze szczególnym uwzględnieniem patogennych oocyst *Cryptosporidium parvum* i cyst *Giardia lamblia*.

W Polsce wymóg kontroli zawartości mikroorganizmów patogennych w wodzie został uregulowany w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. [27] oraz w kolejnych edycjach rozporządzeń regulujących

jakość wody do spożycia przez ludzi [28–30]. Przepisy te wprowadziły nowy mikrobiologiczny wskaźnik jakości w przypadku wody pochodzącej z ujęć powierzchniowych lub mieszanych – klostridia redukujące siarczyny (*Clostridium perfringens*), którego przekroczenie dopuszczalnych wartości nakazuje eksploatatorom kontrolować wodę pod względem zawartości mikroorganizmów chorobotwórczych, np. *Cryptosporidium* sp. Bakterie *Clostridium perfringens* stanowią szczególnie problem technologiczny w oczyszczaniu wody, co nie wynika z ich dużej wirulencji, lecz zdolności do tworzenia form przetrwalnych (spory, cysty), w postaci których mogą bytować w wodzie (formy wegetatywne ulegają szybkiej sporulacji w środowisku tlenowym, w tym w wodzie) [31–33]. Z tych względów bakterie te są stosunkowo trudne do usunięcia w procesach oczyszczania wody. Podobną oporność na środki dezynfekcyjne i procesy oczyszczania wody wykazują formy przetrwalne *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia*. Nawet niewielka liczba tych patogenów, w powiązaniu z długim czasem ich przeżycia w wodzie, stanowi istotny czynnik wzrostu zagrożenia zdrowotnego konsumentów wody. Tak więc organizm *Clostridium perfringens* stał się doskonałym wskaźnikiem do określania ryzyka potencjalnego skażenia wody patogenami oraz elementem oceny sprawności procesów technologicznych oczyszczania wody.

Pierwotniaki *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia* oraz bakterie *Clostridium perfringens* obecne są w toni wodnej zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, a ich liczebność jest ściśle związana ze sposobem zagospodarowania zlewni oraz ilością zanieczyszczeń fekalnych odprowadzanych do wód i gleby. Ponadto wzrost zawartości tych mikroorganizmów w ujmowanej wodzie odnotowuje się wraz z wezbrzeniami podczas intensywnych opadów czy też wiosennych spływów roztopowych. Argumenty te przemawiają na rzecz racjonalnego wykorzystania wód pochodzących z płukania filtrów, poprzez ich zawracanie do głównego ciągu technologicznego oczyszczania wody. Opracowane przez U.S. EPA zasady „Filter Backwash Recycling Rule (FBRR); Technical Guidance Manual” [23] oraz technologiczne zalecenia dotyczące recyrkulacji wód popłucznych [21, 24, 25] stanowią podstawę wdrażania rozwiązań technicznych bezpiecznego prowadzenia procesu zawracania popłuczyn, minimalizujących potencjalne ryzyko skażenia wody mikroorganizmami patogennymi.

### Rozwiązania techniczne recyrkulacji popłuczyn

W przypadku powtórnego wykorzystania popłuczyn z filtrów, poprzez zawracanie do głównego ciągu technologicznego oczyszczania wody, podstawowym problemem jest bardzo wysoka, w stosunku do ujmowanej wody, liczebność mikroorganizmów patogennych, w tym oocyst pierwotniaków *Cryptosporidium parvum* i cyst *Giardia lamblia* [7–11]. Zasady U.S. EPA dotyczące recyrkulacji wód popłucznych [23] podkreślają, że sprowadzenie procesu oczyszczania popłuczyn jedynie do usunięcia zawiesin jest dalece niewystarczające i istotnie zwiększa ryzyko skażenia wody mikroorganizmami chorobotwórczymi. W celu zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa zdrowotnego wody oraz minimalizacji zagrożeń związanych z mikroorganizmami patogennymi, zasady FBRR narzucają na przedsiębiorstwa wodociągowe obowiązek prowadzenia dokumentacji technicznej układu recyrkulacji popłuczyn wraz z określeniem lokalizacji punktu ich włączenia do głównego ciągu oczyszczania wody. Zasady

FBRR zalecają, aby wody z płukania filtrów zawracane były do początku układu technologicznego oczyszczania wody, w miejscu zapewniającym wymieszanie strumienia popłuczyn z ujmowaną wodą. Zawracanie popłuczyn powinno być rozłożone w czasie, z zachowaniem stosunku strumienia wód popłucznych do strumienia ujmowanej wody na poziomie 10% (maks. 20%). Jednocześnie zasady FBRR podkreślają, że dobrej jakości popłuczyny, charakteryzujące się mętnością nieprzekraczającą 5 NTU oraz zawartością zawiesin do 10 g/m<sup>3</sup>, nie zwiększają ryzyka pogorszenia sprawności technologicznej układu oczyszczania wody. Jeśli wody popłuczne nie spełniają standardów jakości, wówczas powinny być poddane procesowi oczyszczania [21, 23, 25].

Najczęściej stosowaną w praktyce wodociągowej metodą oczyszczania popłuczyn jest proces sedymentacji, pozwalający na zmniejszenie ich mętności średnio o 70% [1, 4, 16, 34–36]. W badaniach przeprowadzonych w kilku zakładach oczyszczania wody wykazano, że zarówno 22÷24-godz. sedymentacja popłuczyn, jak i ich ciągła recyrkulacja z automatycznego płukania filtrów w krótkich przedziałach czasu (48 min złoża piaskowe, 180 min złoża węglowe), pozwalały na uzyskanie wysokiej jakości popłuczyn, przez co ich wpływ na jakość strumienia ujmowanej wody i skuteczność jej oczyszczania był nieistotny. W innych obiektach badań, gdzie układ technologiczny recyrkulacji popłuczyn stanowił jedynie zbiornik wyrównawczy, jakość oczyszczanej wody ulegała znacznym wahaniom w efekcie cyklicznego doprowadzania strumienia popłuczyn [36].

Autorzy pracy [12] ocenili wpływ recyrkulacji strumienia nieoczyszczonych popłuczyn, zawierających oocysty *Cryptosporidium parvum*, na skuteczność usuwania zawiesin i mikroorganizmów w procesach koagulacji, sedymentacji i filtracji. Okazało się, że zawracanie popłuczyn w ilości 4,3÷20% w stosunku do ilości ujmowanej wody umożliwiała podobną – a w niektórych przypadkach nawet większą – skuteczność oczyszczania wody niż w przypadku braku recyrkulacji. Jednakże liczne doniesienia literaturowe [7, 10, 11, 14, 15] wskazują na dodatkowe zagrożenia pojawiające się w efekcie zawracania nieoczyszczonych wód popłucznych do głównego układu technologicznego, związane z wprowadzeniem do strumienia wody surowej zwiększonego ładunku zanieczyszczeń, takich jak substancje organiczne, związki humusowe, przyswajalny węgiel organiczny czy też uboczne produkty utleniania.

Zawracanie ciągłego i stabilnego strumienia wód popłucznych do początku głównego układu oczyszczania wody zmniejsza ryzyko wtórnego skażenia wody mikroorganizmami patogennymi. Odnosi się to zarówno do wód popłucznych poddanych wcześniej procesowi podczyszczania, jak i nieoczyszczonych. Zatem oczyszczanie popłuczyn może się odbywać bezpośrednio w głównym ciągu technologicznym, jednak w tym przypadku należy ściśle przestrzegać zachowania maksymalnego stopnia recyrkulacji, a co za tym idzie – wprowadzanego ładunku zanieczyszczeń, w tym mikroorganizmów patogennych, do oczyszczanej wody. Wysoka oporność tych mikroorganizmów na środki dezynfekcyjne wymusza konieczność stosowania tzw. wielobarierowych rozwiązań technicznych (koagulacja, sedymentacja, filtracja, ozonowanie) o wysokiej skuteczności technologicznej. Podstawową metodą eliminacji pierwotniaków z wody jest ich fizyczne usuwanie na drodze filtracji, która w przypadku małych oocyst *Cryptosporidium parvum* (2÷4 μm) i cyst *Giardia lamblia*

(5÷15 µm) gwarantuje skuteczność od 99,9% (filtracja pospieszna) do 99,99% (ultrafiltracja) [23, 25, 26]. Zatem filtracja poprzedzona prawidłowo prowadzoną koagulacją ma znaczenie podstawowe w usuwaniu pierwotniaków z rodzaju *Cryptosporidium* i *Giardia* oraz beztlenowców *Clostridium*. Podstawowym wskaźnikiem bieżącej kontroli skuteczności filtracji wg zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) [37] jest mętność wody po filtrach, która nie może przekraczać 1 NTU (incydentalnie 5 NTU). Mętność wody około 1 NTU gwarantuje zadowalającą (99,9%) eliminację wirusów i bakterii chorobotwórczych, jednakże nie dotyczy to oocyst *Cryptosporidium parvum* i sporów *Clostridium perfringens*, których usunięcie w procesie filtracji gwarantuje dopiero uzyskanie mętności wody poniżej 0,3÷0,5 NTU. W typowych zakładach oczyszczania wody skuteczność usuwania tych zanieczyszczeń waha się w zakresie 1,3÷4,3 log, średnio 2 log (99%) [10, 12–15, 25, 26, 37].

### Charakterystyka obiektu badań

Zakład Uzdantniania Wody Goczałkowice składa się z dwóch ciągów technologicznych, które mogą pracować niezależnie wykorzystując zasoby wodne Jeziora Goczałkowickiego (ciąg Go-Cza I) oraz wodę przierzucaną z kaskady Soły (ciąg Go-Cza II). Rozbudowany system technologiczny w postaci ozonowania wstępnego, koagulacji klasycznej (ciąg Go-Cza I) lub koagulacji w pulsatorach (ciąg Go-Cza II), filtracji pospiesznej (złoża piaskowe), ozonowania pośredniego, adsorpcji na węglu aktywnym oraz dezynfekcji chlorem umożliwia skuteczne oczyszczanie wody o dużej zmienności wartości wskaźników fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych, gwarantując uzyskanie wymaganej jakości wody oczyszczonej, charakteryzującej się dużą stabilnością biologiczną i chemiczną.

Ciąg Go-Cza I ujmuje wodę z Jeziora Goczałkowickiego, skąd jest pompowana do studni rozdzielczej, poczym wpływa do komór ozonowania wstępnego (czas kontaktu 11 min). Następnie woda poddawana jest klasycznej koagulacji siarczanem glinu. Z poziomych osadników pokoagulacyjnych sklarowana woda przepływa przez komorę rozdzielczą na piaskowe filtry pospieszne. W budynku filtrów mieszczą się 24 komory filtracyjne, każda o powierzchni 46 m<sup>2</sup>, z których obecnie eksploatowanych jest 17 komór. Pojemność jednej komory wynosi 115 m<sup>3</sup>. Złoża filtracyjne uformowane są z 55 cm warstwy piasku o granulacji 0,8÷1,4 mm, usypanej na 35-cm. warstwie podtrzymującej. Przy pełnej wydajności układu (150 tys. m<sup>3</sup>/d) prędkość filtracji wynosi 6,5 m/h, a przy obecnej waha się w zakresie 1,8÷3,0 m/h. W celu zachowania warunków technologicznych pracy filtrów, złoża płukane są wodą ze zbiornika wieżowego zasilanego z pompowni II°. Woda oczyszczona jest następnie kierowana do pompowni międzyobiektywnej, która przetłacza ją do obiektu ozonowania pośredniego i dalej na filtry z węglem aktywnym. Po filtracji na złożach węglowych woda wpływa do zbiorników wody czystej, gdzie poddawana jest dezynfekcji chlorem.

W układzie technologicznym Go-Cza II woda ujmowana z kaskady Soły może być mieszana z wodą ujmowaną z Jeziora Goczałkowickiego. Mieszanka wody z obu ujęć kierowana jest do komór wstępnego ozonowania (czas kontaktu 11÷24 min), a następnie dwoma rurociągami do 8 pulsatorów. Do rurociągów tych wprowadzane są reagenty, tj. siarczan glinu i okresowo polielektrolit. Sklarowana woda grawitacyjnie kierowana jest do hali 40 filtrów pospiesznych

o pojemności jednej komory 216 m<sup>3</sup>. Powierzchnia każdego złoża filtracyjnego wynosi 44,8 m<sup>2</sup>. Warstwa piasku filtracyjnego o granulacji 0,8÷2,0 mm ma wysokość 1,4 m i ułożona jest na warstwie żwiru o wysokości 0,4 m. Projektowana prędkość filtracji przy pełnej wydajności ciągu (350 tys. m<sup>3</sup>/d) wynosiła 10 m/h, a przy obecnej – 4,4 m/h. Złoża filtracyjne płukane są wodą z intensywnością 18÷20 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s, a czas płukania wynosi 10÷15 min. Woda z filtrów jest kierowana do pompowni międzyobiektywnej, skąd jest przetłaczana do obiektu ozonowania pośredniego i dalej na filtry węglowe. W obiekcie filtrów węglowych mieści się 16 komór filtracyjnych (każda o powierzchni 104 m<sup>2</sup>) o wysokości złoża 2,0 m. Czas kontaktu wody z węglem aktywnym wynosi średnio 14 min. Po filtrach węglowych woda wpływa do terenowych zbiorników wody czystej. W rurociągach dopływowych do zbiorników dawkowana jest woda chlorowa w celu dezynfekcji. Ze zbiorników terenowych woda przez pompownię II° tłoczona jest do systemu dystrybucji.

Pierwotne rozwiązanie wtórnego wykorzystania wód technologicznych, w tym wód z płukania złożów filtracyjnych, stanowił układ trzech pulsatorów, do których doprowadzano wodę z płukania filtrów. Rozwiązanie to zakładało pompowanie oczyszczonych popłuczyn do układu pulsatorów ciągu Go-Cza II, a osady zgromadzone w lejach miały być odprowadzane do zagęszczaczy osadów, z których wody nadosadowe miały być kierowane do pulsatorów wód popłuczynnych. Eksploatacja takiego ciągu recyrkulacji (przyjęta w projekcie technicznym) była w pełni uzasadniana przy założeniu systematycznego płukania złożów filtracyjnych, co miało gwarantować ciągłą pracę pulsatorów wód popłuczynnych z obciążeniem od 0,222 m<sup>3</sup>/d do 0,963 m<sup>3</sup>/d (w zależności od liczby pracujących pulsatorów). Jednak uwarunkowania eksploatacyjne zakładu określające blokowy system płukania złożów filtracyjnych (poza godzinami szczytu energetycznego) wymusiły okresowy dopływ strumienia wód popłuczynnych do pulsatorów, co znacznie utrudniło ich prawidłową eksploatację. Z tego względu zaniechano zwracania popłuczyn do głównego ciągu technologicznego oczyszczania, a istniejące pulsatory wód popłuczynnych zaadaptowano na osadniki pionowe pracujące w układzie szeregowym. Obecnie osadniki te przyjmują wodę z płukania filtrów pospiesznych ciągów Go-Cza I i Go-Cza II oraz układu filtrów węglowych. Z osadników woda nadosadowa, zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym, odprowadzana jest do rzeki Pszczyńki w średniej dobowej ilości 10 tys. m<sup>3</sup>/d (maks. 35 227 m<sup>3</sup>/d).

### Analiza celowości zwracania popłuczyn

Obecne warunki eksploatacyjne zakładu „Goczałkowice”, jak i duża roczna ilość wód popłuczynnych powstająca podczas eksploatacji filtrów pospiesznych i węglowych, stanowiąca przeciętnie 4,6% w stosunku do ilości wody pobranej ze środowiska (zakres zmienności 2,4÷6,1%), były przyczyną podjęcia badań mających na celu ocenę celowości zwracania popłuczyn do głównego ciągu technologicznego. Badania przeprowadzono w czasie od stycznia 2012 r. do lipca 2013 r. Wodę do badań pobierano z układu rurociągów wody surowej zasilających ciągi technologiczne oczyszczania wody Go-Cza I i Go-Cza II oraz na odpływie z osadników pionowych oczyszczania wód popłuczynnych, zwracanych do pulsatorów ciągu Go-Cza II. Próbkę wody pobierano raz w miesiącu zgodnie z normami PN-ISO 5667-5 oraz PN-EN ISO 19458:2007.



Tabela 1. Charakterystyka jakości wód ujmowanych i zawracanych w zakładzie oczyszczania wody „Goczałkowice”  
Table 1. Quality characteristics of waters taken and recycled at Goczałkowice water treatment plant

Wskaźnik, jednostka	Ujęcie Go-Cza I		Ujęcie Go-Cza II		Woda zawracana	
	zakres	średnia	zakres	średnia	zakres	średnia
Temperatura, °C	0÷22	12,1	1÷22	10,8	2÷21	12,9
Barwa, gPt/m <sup>3</sup>	20÷50	34,2	20÷30	22,8	5÷15	9,1
Mętność, NTU	3,2÷16	8,7	2,8÷20	6,4	0,99÷4,5	2,54
pH	7,3÷7,9	–	7,4÷8,0	–	6,9÷7,4	–
ChZT, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	6,0÷22,0	13,1	3,0÷22,0	9,9	3,0÷13,0	6,8
OWO, gC/m <sup>3</sup>	1,4÷5,2	3,4	1,2÷2,8	2,0	1,2÷2,9	1,9
Absorbancja w UV <sub>254nm</sub> <sup>1m</sup>	5,5÷19,8	13,0	4,6÷13,8	9,0	2,1÷5,5	4,0
BZT <sub>5</sub> , gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,4÷4,6	2,3	0,4÷3,2	1,5	0,6÷6,5	2,0
Glin, gAl/m <sup>3</sup>	0,05÷0,05	0,05	0,05÷0,05	0,05	0,063÷0,150	0,110
Zawiesiny, g/m <sup>3</sup>	2,0÷18,0	9,9	1,0÷6,0	3,8	2,0÷8,0	3,9
Ogólna liczba mikroorg. (36 °C, 48 h), jtk/cm <sup>3</sup>	22÷1400	341	75÷360	156	14÷2000	505
Ogólna liczba mikroorg. (22 °C, 72 h), jtk/cm <sup>3</sup>	170÷2800	1153	560÷2900	1258	1400÷24000	8620
Liczba bakterii grupy coli (NPL)	23÷460	118	23÷1100	293	4÷23	16
Liczba bakt. grupy coli typu kałowego (NPL)	9÷460	98	9÷460	193	4÷23	12
Enterokoki, jtk/100 cm <sup>3</sup>	2÷16	7	8÷8	8	0÷0	0
<i>Clostridium perfringens</i> , jtk/100 cm <sup>3</sup>	1÷116	36	3÷159	57	0÷33	8,4

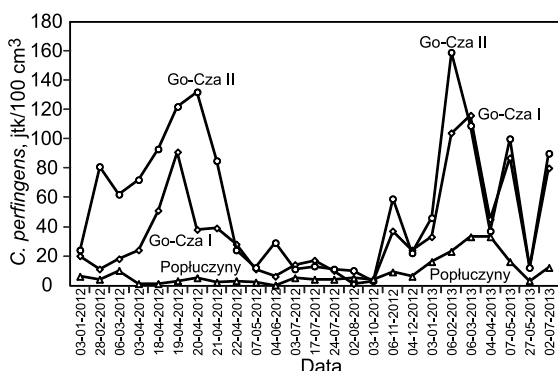
Dodatkowo, w kwietniu 2012 r., gdy woda z obydwu ujęć charakteryzowała się ponaddwukrotnie większą mętnością w stosunku do wartości średnich (Go-Cza I – 16NTU, Go-Cza II – 20NTU) oraz znaczną liczebnością *Clostridium perfringens* (Go-Cza I – 24 jtk/100 cm<sup>3</sup>, Go-Cza II – 72 jtk/100 cm<sup>3</sup>), próbki wody były pobierane codziennie w czasie od 17 do 23 kwietnia, co miało na celu ocenę ryzyka zagrożenia skażeniem wody mikroorganizmami chorobotwórczymi. W czasie prowadzonych badań w próbkach wody, zgodnie z obowiązującymi normami, oznaczano temperaturę, pH, mętność, barwę, zawiesiny, ChZT, BZT<sub>5</sub>, OWO, absorbancję w nadfiolecie ( $\lambda=254\text{nm}$ ), glin oraz podstawowe wskaźniki mikrobiologiczne, w tym bakterie i spory *Clostridium perfringens* jako wskaźnik zagrożenia skażeniem wody pierwotniakami z rodzaju *Cryptosporidium* i *Giardia*.

Przeprowadzone badania wykazały, że woda zasilająca oba ciągi technologiczne zakładu „Goczałkowice” charakteryzowała się dużą zmiennością jakości w ciągu roku, podczas gdy woda z układu oczyszczania popłuczyn, zawracana do głównego ciągu oczyszczania wody, cechowała się stabilną jakością (tab. 1). Przeciętna mętność wody w układzie recykulacji była blisko 3,5-krotnie mniejsza w odniesieniu do wody ujmowanej w ciągu Go-Cza I oraz 2,5-krotnie w ciągu Go-Cza II. Natomiast barwa oczyszczonych wód z płukania filtrów (śr. 9,1 gPt/m<sup>3</sup>) stanowiła zaledwie 26,6% barwy wody ciągu Go-Cza I oraz 39,9% w przypadku Go-Cza II. Dużą skuteczność technologiczną usuwania zanieczyszczeń z wód popłuczynnych w procesie sedymentacji potwierdziła również eksploatacja układu recykulacji podczas silnych zakwitów planktonu w Jeziorze Goczałkowickim (IV 2012 r.). Zakwit ten charakteryzował się liczbą organizmów planktonowych 6038 org./cm<sup>3</sup>, z dominacją okrzemek (3923 org./cm<sup>3</sup>) i zielenic (1154 org./cm<sup>3</sup>) oraz znaczną zawartością chlorofilu *a* (29,8 mg/m<sup>3</sup>). Ponadto w tym czasie woda ujmowana z Jeziora Goczałkowickiego miała maksymalną mętność (16NTU) oraz dużą

intensywność barwy (40 gPt/m<sup>3</sup>). Poza tym zawartość związków organicznych (OWO) w ilości 2,5 gC/m<sup>3</sup> była o 39,9% większa niż w wodzie w układzie recykulacji popłuczyn. Wyniki badań mikrobiologicznych wykazały również dużą liczbę *Clostridium perfringens* (24 jtk/100 cm<sup>3</sup>). W tym czasie woda z kaskady Soły charakteryzowała się również maksymalną mętnością (20NTU) i barwą (30 gPt/m<sup>3</sup>), którym towarzyszyła większa o 27% w stosunku do wartości średnich liczba *Clostridium perfringens* (72 jtk/100 cm<sup>3</sup>). Sprawność technologiczna osadników wód popłuczynnych pozwoliła na uzyskanie podczas zakwitów planktonu wody o następującej jakości: mętność – 0,99NTU, barwa – 5 gPt/m<sup>3</sup>, OWO – 1,8 gC/m<sup>3</sup>, *Clostridium perfringens* – 1 jtk/100 cm<sup>3</sup>.

W badaniach stwierdzono dużą skuteczność technologiczną pracy osadników pionowych w układzie oczyszczania wód popłuczynnych (rys. 1) w zakresie usuwania bakterii *Clostridium perfringens*. W odplywie uzyskano średnio 76,3% usunięcia komórek bakterii w stosunku do wód zasilających zakład „Goczałkowice”. Największą liczebność bakterii w odplywie z układu oczyszczania popłuczyn odnotowano w marcu/kwietniu 2013 r. (33 jtk/100 cm<sup>3</sup>), co spowodowane było liczną obecnością tych bakterii w wodach zasilających zakład oczyszczania na skutek intensywnych wiosennych spływów powierzchniowych ze zlewni (Go-Cza I – 116 jtk/100 cm<sup>3</sup>, Go-Cza II – 109 jtk/100 cm<sup>3</sup>). Wykazano jedynie incydentalną obecność form przetrwalnych bakterii w oczyszczonych wodach popłuczynnych, których nie wykryto w wodzie oczyszczonej, co świadczy o wysokiej sprawności technologicznej układu oczyszczania, która znacznie zmniejsza ryzyko wtórnego skażenia wody mikroorganizmami patogennymi.

Analiza jakości oczyszczonych popłuczyn wykazała ponadto obecność glinu, w średniej ilości 0,11 gAl/m<sup>3</sup>, jako pozostałości po stosowanym w procesie koagulacji siarczanie glinu. Może to również przynieść wymierne korzyści w procesie optymalizacji gospodarki reagentami.



Rys. 1. Liczba bakterii *Clostridium perfringens* w wodzie oczyszczanej w zakładzie „Goczałkowice”

Fig. 1. Number of *Clostridium perfringens* in water treated at Goczałkowice water treatment plant

Na podstawie danych eksploatacyjnych Górnśląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów SA za 2012 r. przeprowadzono analizę ekonomiczną procesu zawracania wód z płukania filtrów do głównego ciągu technologicznego. W analizie tej przyjęto koszty jednostkowe poniesione na dostarczenie ujmowanej wody do pulsatorów, związane z poborem wody ze środowiska, eksploatacją pompowni I° oraz procesem ozonowania wstępnego, jak również z pompowaniem oczyszczonych popłuczyn do pulsatorów oraz z odprowadzeniem popłuczyn do środowiska (tab. 2).

Tabela 2. Koszty jednostkowe procesów eksploatacyjnych w zakładzie oczyszczania wody „Goczałkowice”

Table 2. Unit costs of selected operational processes at Goczałkowice water treatment plant

Składnik kosztów w 2012 r.	Koszt jednostkowy zł/m <sup>3</sup>
Opłata za pobór wody z Jeziora Goczałkowickiego	0,0253
Pompowanie wody	0,0474
Ozonowanie	0,0010
Całkowity koszt oczyszczania wody na dopływie do pulsatorów	0,0737
Opłata za odprowadzanie popłuczyn do rzeki Pszczyнки	0,0121
Jednostkowy koszt pompowania popłuczyn	0,0185

W analizie założono maksymalny stopień odzyskania popłuczyn w ilości 80%, co w odniesieniu do całkowitej ilości wód z płukania filtrów w 2012 r. stanowiło 29 131 80 m<sup>3</sup>. Przeprowadzona analiza wykazała możliwość oszczędności z tytułu eksploatacji układu recyrkulacji popłuczyn w skali roku na poziomie 193,5 tys. zł (tab. 3).

Tabela 3. Analiza ekonomiczna recyrkulacji popłuczyn w zakładzie oczyszczania wody „Goczałkowice”

Table 3. Economic analysis of backwash water recycling at Goczałkowice water treatment plant

Składnik kosztów w 2012 r.	Koszt, zł
Oczyszczanie wody na dopływie do pulsatorów	214 701,37
Odprowadzanie popłuczyn do rzeki Pszczyнки	32 711,00
Pompowanie popłuczyn do pulsatorów	53 893,83
Oszczędność z tytułu zawracania popłuczyn	193 518,54

## Wnioski

◆ Recyrkulacja popłuczyn powstających w zakładach oczyszczania wody stanowi złożone zagadnienie budzące niejednokrotnie nieuzasadnione obawy. Różne rozwiązania techniczne recyrkulacji wód popłuczyn, oparte na systemie tzw. multibariery, istotnie eliminują ryzyko skażenia wody mikroorganizmami chorobotwórczymi i są powszechnie stosowane np. w Stanach Zjednoczonych (4650 systemów wodociągowych zaopatrujących w wodę 35 mln osób). Rozwiązania technologiczne oparte na zasadach FBRR przynoszą wymierne korzyści kompleksowej optymalizacji kosztów eksploatacji ciągu oczyszczania wody oraz układu oczyszczania popłuczyn.

◆ Zarówno ocena nakładów inwestycyjnych układu oczyszczania popłuczyn, jak i kosztów eksploatacyjnych zakładów oczyszczania wody z recyrkulacją wymagają ścisłej analizy indywidualnych warunków eksploatacyjnych danego zakładu, uwzględniającej założone skutki środowiskowe i wymaganą skuteczność technologiczną.

◆ Wyniki przeprowadzonej analizy korzyści z tytułu zawracania wód z płukania filtrów do głównego ciągu technologicznego oczyszczania wody w zakładzie „Goczałkowice” wykazują istotne korzyści ekonomiczne (oszczędności ok. 193,5 tys. zł w skali roku), środowiskowe, jak również brak zagrożenia skażeniem bakteriami *Clostridium perfringens*, których liczebność w zawracanych popłuczynach była wielokrotnie mniejsza niż w ujmowanej wodzie powierzchniowej. Przeprowadzone badania w pełni uzasadniają podjęte działania w celu zwiększenia ilości zawracanych wód popłuczynych do 80%.

## LITERATURA

1. M. MEGGENEDER, J. ŁOMOTOWSKI, P. WIERCIK: Badania nad zastosowaniem chlorosiarczanu żelaza(III) do oczyszczania popłuczyn z filtrów do odżelaziania i odmanganiania wody (Use of iron(III) chloride sulfate for the treatment of filter backwash water). *Ochrona Środowiska* 2011, vol. 33, nr 4, ss. 53–56.
2. A.L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
3. DVGW-Arbeitsblatt W 213-3: Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung. Teil 3: Schnellfiltration, 2005.
4. S. KAWAMURA: Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. John Wiley & Sons Inc., New York 2000.
5. J. NAWROCKI, S. BIŁOZOR: Uzdatanianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
6. M.M. SOZAŃSKI [red.]: Technologia usuwania i unieszkodliwiania osadów z uzdatniania wody. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
7. D.A. CORNWELL, R.G. LEE: Waste stream recycling: its effect on water quality. *Journal American Water Works Association* 1994, Vol. 86, No. 11, pp. 50–63.
8. P. KARANIS, D. SCHOENEN, H.M. SEITZ: Distribution and removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies in Germany. *Water Science and Technology* 1998, Vol. 37, No. 2, pp. 9–18.
9. M.W. LeCHEVALLIER, M. ABBASZADEGAN, G.D. Di GIOVANNI: Detection of infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in environmental water samples using an integrated cell culture-PCR (CC-PCR) system. *Water, Air and Soil Pollution* 2000, Vol. 123, No. 1–4, pp. 53–65.
10. H. ARORA, G.D. Di GIOVANNI, M.W. LeCHEVALLIER: Spent filter backwash water. Contaminants and treatment strategies. *Journal American Water Works Association* 2001, Vol. 93, No. 5, pp. 100–112.

11. K.H. CARLSON, W.H. BELLAMY: Use of a mass balance model for developing guidelines for treatment plant recycle streams. *Water Science and Technology: Water Supply* 2001, Vol. 1, No 4, pp. 169–176.
12. D.A. CORNWELL, M.J. MacPHEE: Effects of spent filter backwash recycle on *Cryptosporidium* removal. *Journal American Water Works Association* 2001, Vol. 93, No. 4, pp. 153–163.
13. A. ADIN, L. DEAN, F. BONNER, A. NASSER, Z. HUBERMAN: Characterization and destabilization of spent filter backwash particles. *Water Science and Technology: Water Supply* 2002, Vol. 2, No. 2, pp. 115–122.
14. A. NASSER, Z. HUBERMAN, L. DEAN, F. BONNER, A. ADIN: Coagulation as a pretreatment of SFBW for membrane filtration. *Water Science and Technology: Water Supply* 2002, Vol. 2, No 2, pp. 301–306.
15. A. GOTTFRIED, A.D. SHEPARD, K. HARDIMAN, M.E. WALSH: Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation-sedimentation processes. *Water Research* 2008, Vol. 42, No. 18, pp. 4683–4691.
16. P. WIERCIK, M. DOMAŃSKA: wpływ recykulacji popłuczyn na jakość wody uzdatnionej – przegląd literatury. *Przebieg Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2011, nr 54, ss. 333–343.
17. Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dz. U. z 8 stycznia 2013 r., poz. 21.
18. Rozporządzenie Ministra Budownictwa z 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych. Dz. U. nr 136, poz. 964.
19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz. U. nr 137, poz. 984 (z późn. zm.).
20. National Primary Drinking Water Regulation: Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule. Proposed Rule. Federal Register 2000. Part II EPA, 40 CFR, Parts 141 and 142 [WH-FRL-6570-5], Vol. 65, No. 69, EPA 2000.
21. National Primary Drinking Water: Filter Backwash Recycling Rule. Final Rule. Federal Register 2001. Part IV EPA, 40 CFR Parts 9, 141 and 142 [WH-FRL-6989-5], Vol. 66, No. 111, EPA, 2001.
22. Economic Analysis for Filter Backwash Recycling Rule. Office of Water (4606). EPA 816-R-01-020, 2001.
23. Filter Backwash Recycling Rule. Technical Guidance Manual. Office of Ground Water and Drinking Water. EPA 816-R-02-014, EPA, 2002.
24. Implementation Guidance for Filter Backwash Recycling Rule (FBRR). Office of Water. EPA 816-R-04-006, 2004.
25. National Primary Drinking Water Regulation: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule. Proposed Rule. Federal Register 2006. Part II EPA, 40 CFR, Parts 9, 141 and 142, Vol. 71, No. 19, EPA, 2006.
26. National Primary Drinking Water Regulation: Disinfection, Turbidity, *Giardia lamblia*, Viruses, *Legionella*, and Heterotrophic Bacteria: Final Rule. EPA, Federal Register 1989. 40 CFR Parts 141 and 142, Vol. 54, No. 124, EPA, 1989.
27. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach, oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej. Dz. U. nr 82, poz. 937.
28. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 203, poz. 1718.
29. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 61, poz. 417.
30. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 72, poz. 466.
31. P. PAYMENT, E. FRANCO: *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied and Environmental Microbiology* 1993, Vol. 59, No. 8, pp. 2418–2424.
32. T. BOCHNIA: Nowe mikrobiologiczne aspekty uzdatniania wody. Mat. konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”, Politechnika Śląska, Szczyrk 2003, ss. 45–56.
33. I. ZIMOCH: Zastosowanie analizy bezpieczeństwa eksploatacji do kontroli funkcjonowania zakładu oczyszczania wody (Analysis of operational safety as a tool for controlling the functioning of a water treatment plant). *Ochrona Środowiska* 2011, Vol. 33, nr 2, ss. 39–44.
34. M. VALENTUKEVICIENE: Possible recycling of spent filter backwash. *Archives of Environmental Protection* 2008, Vol. 34, No. 3, pp. 223–228.
35. T. SIWIEC, I. KARDEL: Hydrauliczne i technologiczne warunki pracy odstojników wód popłucznych. *Gospodarka Wodna* 1995, nr 5, ss. 200–215.
36. J.E. TOBIASON, J.K. EDZWALD, B.R. LEVESQUE, G.K. KAMINSKI, H.J. DUNN, P.B. GALANT: Full-scale assessment of water filter backwash recycle. *Journal American Water Works Association* 2003, Vol. 95, No 7, pp. 80–93.
37. Guidelines for Drinking-water Quality. WHO, Geneva 2004.

**Zimoch, I. Purposefulness of Recycling Rapid Filter Backwash Water in Surface Water Treatment Systems. *Ochrona Środowiska* 2013, Vol. 35, No. 4, pp. 17–22.**

**Abstract:** In recent years an increasing interest of public water system operators has been observed regarding possible reuse of filter backwash effluent in water treatment systems. This is done by returning backwash waste stream to the head of the treatment system, which is aimed at reducing the operating costs. Filter backwash recycling allows reducing water intake costs (pumping, environment taxes) and costs of water discharge into drains or

environment. The paper presents analysis of standard backwash water treatment technological solutions and evaluation of benefits and risks related to filter backwash recycling. Technological analysis including *Clostridium perfringens* occurrence risk assessment and economic analysis of backwash water treatment operation system at Goczalkowice water treatment plant, carried out based on the operating data and laboratory test results, constitutes an integral part of the paper.

**Keywords:** Water quality, filtration, filter backwash, recirculation, *Clostridium perfringens*, pathogens.