

Możliwości dezynfekcji biologicznie oczyszczonych ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku

Dr hab. inż. Bernard Quant, prof. dr hab. inż. Krystyna Olańczuk-Neyman prof. zw. PG, dr inż. Krzysztof Czerwionka, dr Katarzyna Jankowska, dr inż. Eliza Kulbat, dr inż. Aneta Łuczkiwicz, dr inż. Aleksandra Sokołowska, mgr inż. Karolina Fitobór, mgr inż. Sebastian Karolewski, mgr inż. Przemysław Kowal, mgr Katarzyna Tarasewicz
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Niewiele oczyszczalni ścieków jest przystosowanych do efektywnego usuwania ze ścieków niepożądanych mikroorganizmów, głównie pochodzenia kałowego. Efektem tego stanu jest często stwierdzana postępująca degradacja wód odbiornika oczyszczonych ścieków, pomimo stosowania wysokoefektywnych metod oczyszczania ścieków. O lekceważeniu problemu świadczy brak w ustawodawstwie większości krajów europejskich uregulowań dotyczących stanu sanitarnego odprowadzanych ścieków. Przykładem takim jest Polska, gdzie jedynym aktem prawnym, zresztą pośrednio tylko stawiającym wymóg ograniczania liczby bakterii w odprowadzanych oczyszczonych

ściekach, jest rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 8.04.2011 roku w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpieli (Dz. U. 2011.86.478) [1]. Wymogi stawiane wodom rekreacyjnym w wymienionym rozporządzeniu przedstawiono w tabl. 1. Warto zaznaczyć, że kryteria oceny jakości mikrobiologicznej wód do celów klasyfikacji wody w kąpielisku są w cytowanym rozporządzeniu identyczne z zawartymi w Dyrektywie 2006/7/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 lutego 2006 roku dotyczącej zarządzania jakością wody w kąpieliskach.

Tabl. 1. Wymagania bakteriologiczne, jakim powinna odpowiadać woda w kąpieliskach według Rozporządzenia Ministra Zdrowia (Dz. U. 2011,86,478) oraz Dyrektywy 2006/7/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 lutego 2006 roku

Lp.	Wskaźniki (jtk/100ml)	Ocena bieżąca Wartość dopuszczalna	Wody powierzchniowe wewnętrzne			Wody przybrzeżne		
			Jakość			Jakość		
			doskonała	dobra	dostateczna	doskonała	dobra	dostateczna
1	<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000	500*	1000*	900**	250*	500*	500**
2	Enterokoki	≤ 400	200*	400*	330**	100*	200*	185**

* oparte na ocenie 95-percentyla

** oparte na ocenie 90-percentyla

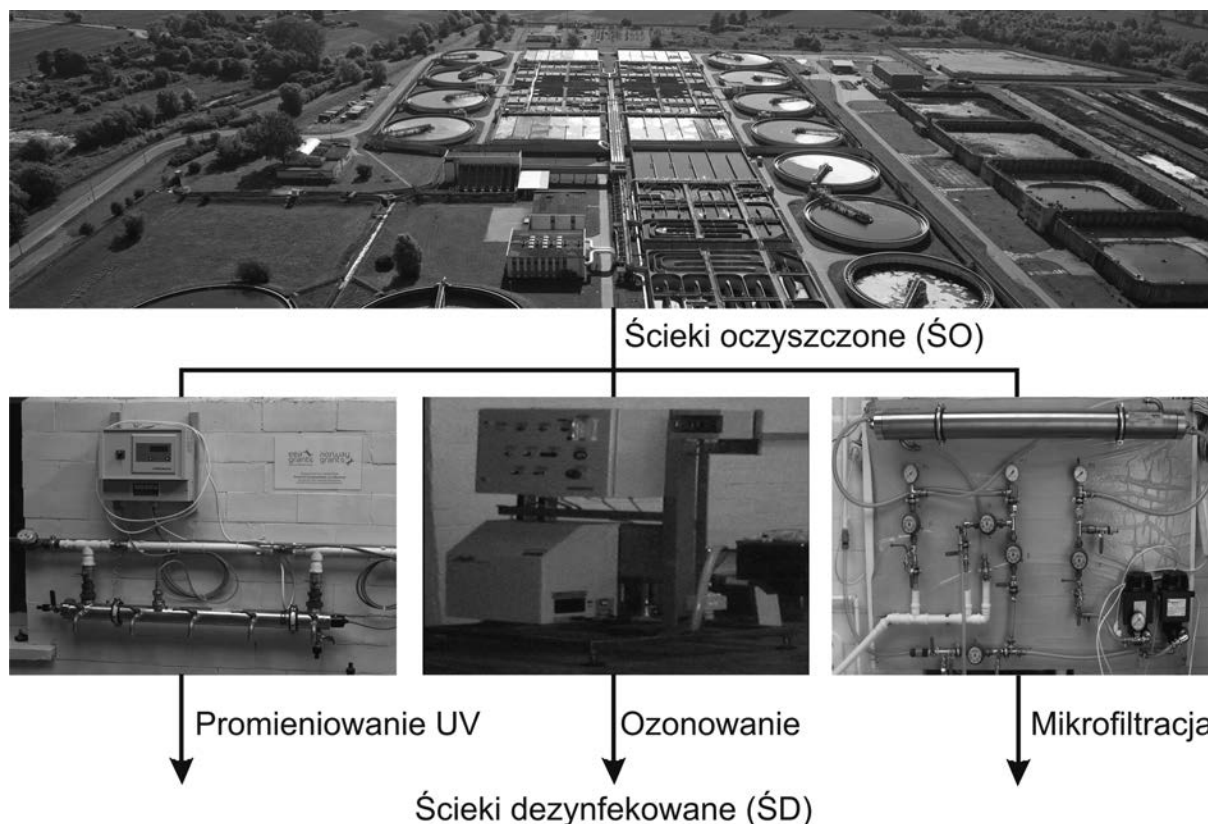
Procesem umożliwiającym bezpieczny pod względem mikrobiologicznym zrzut oczyszczonych ścieków do odbiornika jest dezynfekcja ścieków. Proces ten jest dobrze poznany w uzdatnianiu wód, natomiast w odniesieniu do ścieków istnieje wiele niewiadomych, wątpliwości, a nawet zagrożeń. Zagrożenia te wynikają głównie ze skutków ubocznych reakcji stosowanych reagentów chemicznych (silnych utleniaczy) z bardzo złożonym układem, jakim są ścieki – nawet oczyszczone. W praktyce stosuje się dwie grupy metod: chemiczne, polegające na chlorowaniu i ozonowaniu (w mniejszej skali przy zastosowaniu odczynnika Fentona – również w układzie fotokatalitycznym – głównie w powiązaniu z chemicznym oczyszczaniem ścieków) – z wszelkimi konsekwencjami przebiegu złożonych reakcji chemicznych oraz fizyczne, polegające na stosowaniu promieniowania UV bądź też metod membranowych. Wszystkie one odznaczają się szeregiem zalet i wad, związanych z konkretnymi warunkami realizacji i konkretnymi ściekami. W literaturze przedmiotu mało jest doniesień uogólniających, pozwalających

skutecznie prognozować lub projektować efektywnie działające układy technologiczne dezynfekcji ścieków.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dezynfekcji oczyszczonych biologicznie ścieków z oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku, prowadzonych w kilkumiesięcznym okresie w specjalnie skonstruowanej w skali półtechnicznej stacji dezynfekcji, zlokalizowanej w pobliżu odpływu ścieków z oczyszczalni. Przedmiotowa stacja składała się z trzech podstawowych modułów dezynfekcyjnych: ozonowania, filtracji membranowej oraz dezynfekcji promieniami UV. Dodatkowo stację wyposażono w blok filtracji (2 kolumny piaskowe).

PRZEDMIOT, MIEJSCE I METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były oczyszczone biologicznie ścieki z oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku, pobierane z kanału odpływowego z oczyszczalni.



Rys. 1. Schemat poboru próbek ścieków oczyszczonych (ŚO) i dezynfekowanych (ŚD)

W celu realizacji badań zbudowano pilotową stację dezynfekcji ścieków. Zlokalizowano ją na terenie oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku, w budynku zlokalizowanym w bezpośrednim sąsiedztwie kanału odpływowego. Składała się z trzech zasadniczych modułów, a każdy z nich przeznaczony był do dezynfekcji inną metodą, odpowiednio: za pomocą ozonu, promieniowania UV oraz metodą filtracji membranowej (ultrafiltracja). Dodatkowo, stację wyposażono w układ trzech filtrów piaskowych, przeznaczonych do usuwania zawiesiny ze ścieków poddawanych dezynfekcji. Ogólny układ dezynfekcji przedstawiono schematycznie na rys. 1.

Dezynfekcja ścieków z zastosowaniem ozonowania

Ze względu na trudności organizacyjne związane z upływem czasu od momentu poboru do momentu oznaczenia stężenia ozonu w próbach ścieków poddawanych ozonowaniu, dawkę ozonu zdefiniowano jako całkowitą ilość ozonu rozpuszczonego w ściekach i wyrażono w $\text{mg O}_3/\text{dm}^3$.

Model do wykonywania badań składał się z generatora ozonu (GO3), systemu dozowania ozonu (reduktor ciśnienia i zwężka), wodomierza, dwóch połączonych ze sobą szeregowo kolumn (komora reakcji) oraz wentylacji odprowadzającej nadmiar ozonu na zewnątrz budynku. Na przewodzie, przez który przepływały ścieki, przed miejscem dozowania ozonu, umieszczono reduktor ciśnienia z zaworem regulacyjnym i wodomierzem. Z generatora mieszaninę gazów (tlenu i ozonu) o ściśle określonym stężeniu ozonu wprowadzano do ścieków oczyszczonych za pośrednictwem zwężki. Następnie ścieki, przewodami o średnicy $12 \div 20$ mm skierowano do komory reakcji. Pierwszą kolumnę komory reakcji można było zasilać ściekami na dwa sposoby: z góry do dołu lub z dołu do góry, co miało wpływ na dozowanie ozonu. W pierwszym rozwiązaniu określoną dawkę ozonu wprowadzano do ścieków w czasie od 15 do 20 s (w zależności od przepływu). W drugim rozwiązaniu czas

wprowadzenia dawki ozonu był dłuższy i wynosił do kilku minut (w zależności od przepływu). Schemat pracy obu układów przedstawiono na rys. 2.

Dezynfekcja ścieków z zastosowaniem promieniowaniem UV

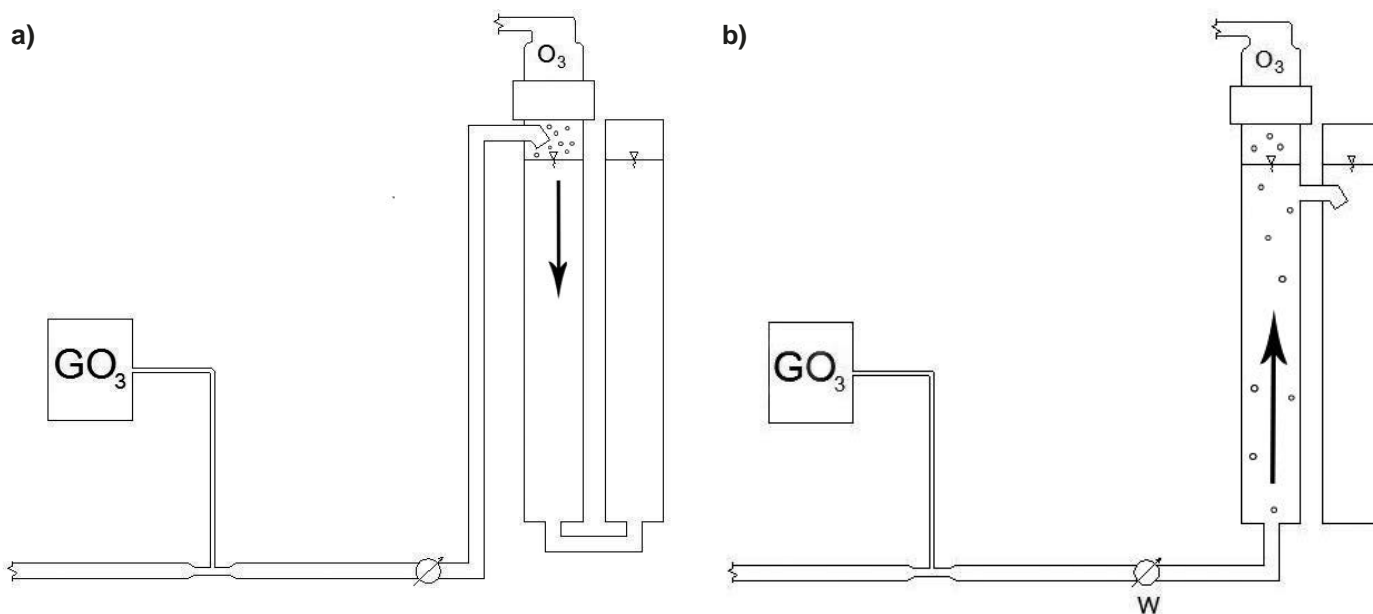
Do dezynfekcji ścieków promieniowaniem UV zastosowano lampę niskociśnieniową LBX3 firmy Wedeco ITT. Proces prowadzono w reaktorze ze stali nierdzewnej wyposażonym w jeden osiowo umieszczony promiennik XLR 10, o mocy 80 W. Skuteczne napromieniowanie mało transparentnych cieczy zapewniała niewielka odległość powierzchni rury kwarcowej od ścianki reaktora, która wynosi 20 mm. Urządzenie wyposażono w kalibrowany czujnik pomiaru natężenia UV [W/m^2].

Prace badawcze przeprowadzono w dwóch etapach. W etapie pierwszym wielkości przepływów wahały się od 0,23 do 1,29 l/s. Ścieki dezynfekowano dawkami UV w zakresie od 0,95 do 24,14 mJ/cm^2 (łącznie 40 dawek), co odpowiadało czasom kontaktu od 0,5 s do 10,1 s. W etapie drugim wielkości przepływów wahały się w zakresie od 0,17 do 0,6 l/s. Ścieki dezynfekowano dawkami UV w zakresie od 2,62 do 39,54 mJ/cm^2 (łącznie 40 dawek), co odpowiadało czasom kontaktu od 1 s do 14 s.

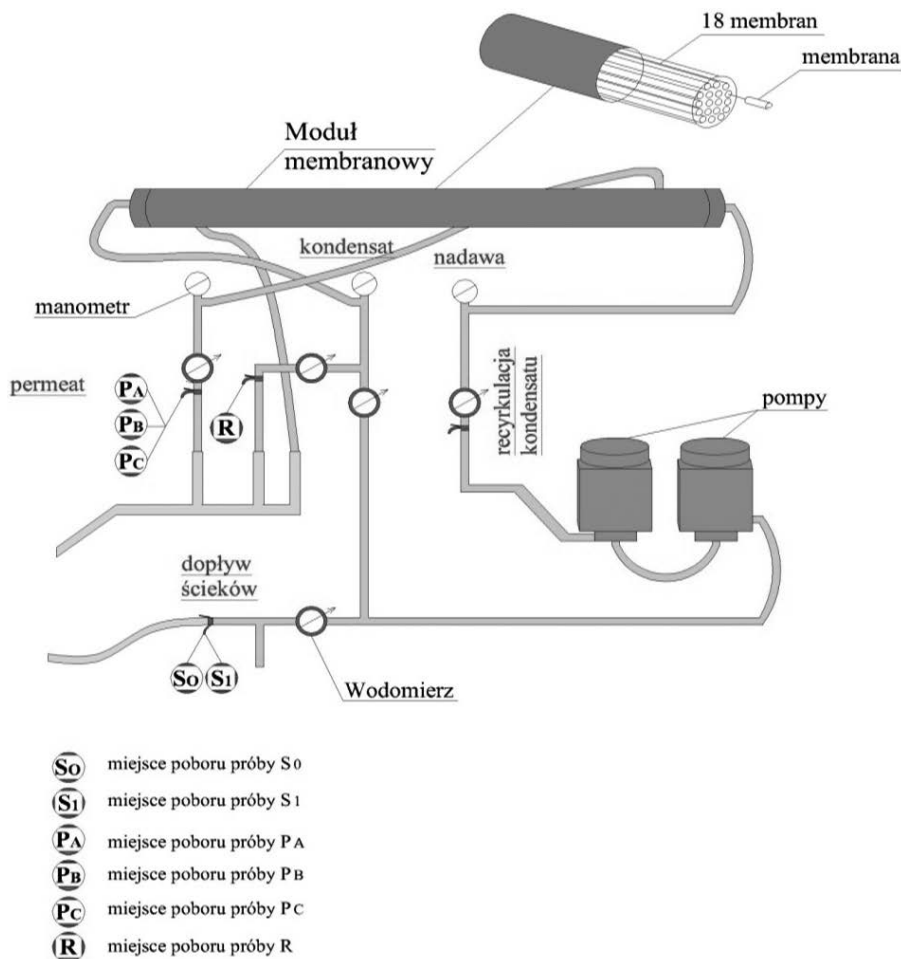
Dezynfekcja ścieków z zastosowaniem filtracji membranowej

Ścieki do stanowiska modelowego dostarczano rurami polipropylenowymi ze zbiorczego kanału odpływowego z oczyszczalni ścieków. Następnie ścieki kierowano do modułu membranowego:

- bezpośrednio,
- pośrednio – poprzez filtry piaskowe.



Rys. 2. Schemat stacji pilotowej do badań nad zastosowaniem ozonu do dezynfekcji ścieków warunkach przepływowych. Przepływ w kolumnie od góry do dołu (a) i od dołu do góry (b)



Rys. 3. Schemat modelowego stanowiska filtracji membranowej z zaznaczeniem miejsc poboru prób

Wyposażenie stacji pilotowej umożliwiało zapewnienie określonego przepływu ścieków oraz ich regulację. W skład wyposażenia wchodziły, m.in.: wodomierze, manometry, reduktory ciśnienia, zawory zwrotne, zawory kulowe, krany do poboru próbek ścieków.

Przed wprowadzeniem ścieków do instalacji znajdował się reduktor ciśnienia, pozwalający na utrzymanie stałego przepływu ścieków w instalacji, oraz manometr ciśnieniowy. Kolejnym elementem był zawór kulowy, który umożliwiał otwieranie oraz zamykanie dopływu ścieków do instalacji. Za zaworem kulowym znajdował się kran służący do poboru próbek ścieków. Pozostała armatura była niezbędna do płukania instalacji w etapie regeneracji membran.

Ścieki w instalacji pompowano za pomocą dwóch pomp o mocy 0,55 kW, których maksymalna wysokość tłoczenia wynosiła 40 metrów. Dzięki ich zastosowaniu uzyskiwano większe wartości ciśnienia cieczy. Wyposażone były w manometr ciśnieniowy.

Integralną częścią stacji był moduł membranowy B1, produkcji ITT Membranes. Przed modułem znajdował się reduktor ciśnienia oraz manometr, określający zadawane ciśnienie. Najważniejszym elementem modułu było 18 stalowych rurek, w których mieściło się 18 membran rurowych rodzaju FP 200 UF, wykonanych z PVDF, o separacji 200 kDa (ITT Membranes), co odpowiadało granicznym wartościom mikro- i ultrafiltracji. Całkowita powierzchnia membrany wynosiła 0,8 m².

Po przejściu przez moduł membranowy istniały dwie możliwości dalszego procesu:

- odrzucanie kondensatu,
- recyrkulowanie kondensatu.

Metodyka badań

Parametry ścieków oczyszczonych oraz ścieków po zastosowaniu trzech różnych metod dezynfekcji określono zgodnie z podaną poniżej metodyką:

Badania fizyczno-chemiczne

W surowych ściekach oczyszczonych (ŚO) i ściekach dezynfekowanych (ŚD) oznaczano:

- ChZT_{Cr} – metoda specyficzna PN-74/C-04578.03,
- BZT₅ – metoda OxiTop Control,
- pH – metoda potencjometryczna z zastosowaniem elektrody jonoselektywnej PN-90/C-04540.01,
- azot ogólny – metoda spektrofotometryczna z zastosowaniem testów kuwetowych Hach Lange (metodyka zgodna z APHA 1992),

- fosfor ogólny – metoda spektrofotometryczna z zastosowaniem testów kuwetowych Hach Lange (metodyka zgodna z APHA 1992),
- zawiesiny – metoda wagowa PN-72/C-04559.02:1972 + Ap:2007.

Badania mikrobiologiczne – metody hodowlane

Określono liczbę następujących grup bakterii:

- bakterie mezofilne na agarze z ekstraktem drożdżowym (według PrPN-ISO 8199),
- bakterie grupy coli termotolerancyjne i domniemane *E. coli* na podłożu m-FC (według PN-ISO 9308-1),
- bakterie z grupy paciorkowców kałowych na podłożu Słanetza-Bartleya (według PN-82/C-04615.25) wraz z potwierdzeniami na podłożu z azydkiem, żółcią i eskułiną,
- bakterie saprofityczne na agarze z ekstraktem drożdżowym (według PrPN-ISO 8199),
- bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* na podłożu Coliform Agar (Merck).

Metody z wykorzystaniem mikroskopu epifluorescencyjnego

Do zliczania komórek bakteryjnych i cząstek wirusowych wykorzystano mikroskop epifluorescencyjny Nikon 80i o powiększeniu użytecznym 1200×. Mikroskop wyposażono w system analizy obrazu składający się z przystawki EpiF, kolorowej kamery cyfrowej o wysokiej rozdzielczości, komputera klasy PC z kartą aktywizacji obrazu oraz komputerowego programu analizy obrazu (NIS-Elements). Wyniki automatycznego zliczania i pomiarów analizowano z użyciem makrodefinicji pisanych w programie Excel [2]:

- określono strukturę bakteriocenozy w ściekach dopływających i w odpływie z oczyszczalni, (biomasa, średnia objętość komórek, struktura wielkościowa i morfologiczna),
- określono liczbę cząstek wirusopodobnych w ściekach oczyszczonych oraz w ściekach poddanych dezynfekcji.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

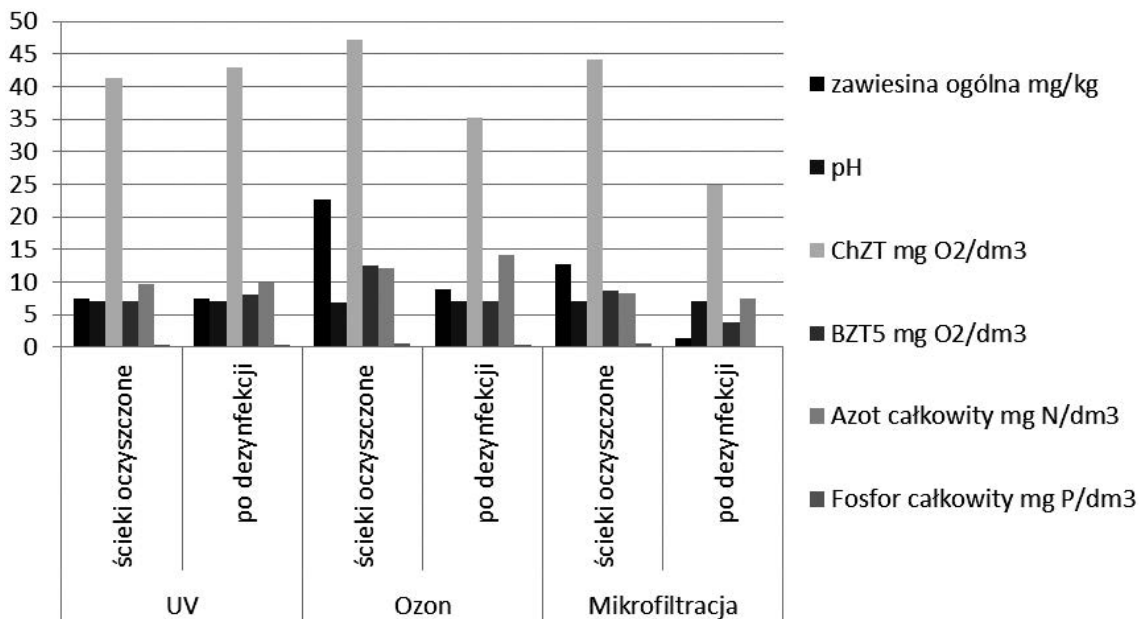
Wyniki badań fizyczno-chemicznych

W ściekach przed i po dezynfekcji oznaczano podstawowe parametry chemiczne: odczyn, ChZT, BZT₅, zawiesinę ogólną, azot ogólny i fosfor ogólny (rys. 4). W wyniku dezynfekcji z zastosowaniem filtracji membranowej oraz ozonowania zaobserwowano redukcję wartości analizowanych parametrów. Wyjątek stanowi stężenie azotu ogólnego – w przypadku ozonowania stężenie azotu ogólnego w ściekach po dezynfekcji nieznacznie wzrosło. Natomiast dezynfekcja z zastosowaniem promieniowania UV nie spowodowała zmian jakości chemicznej ścieków.

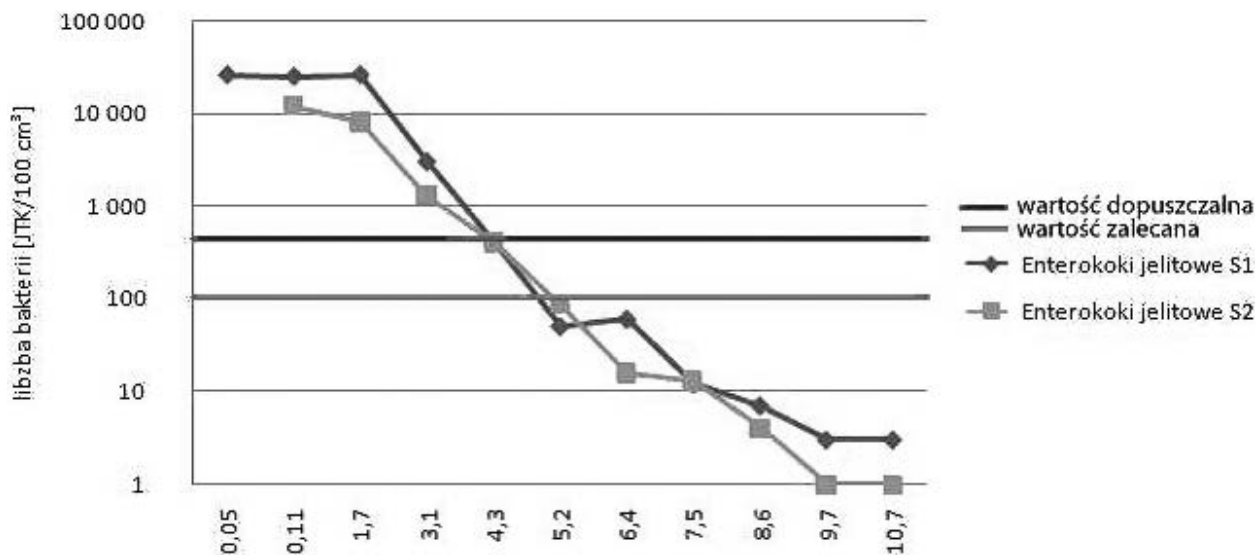
Wyniki badań mikrobiologicznych (metody hodowlane)

Dezynfekcja ścieków z zastosowaniem ozonowania

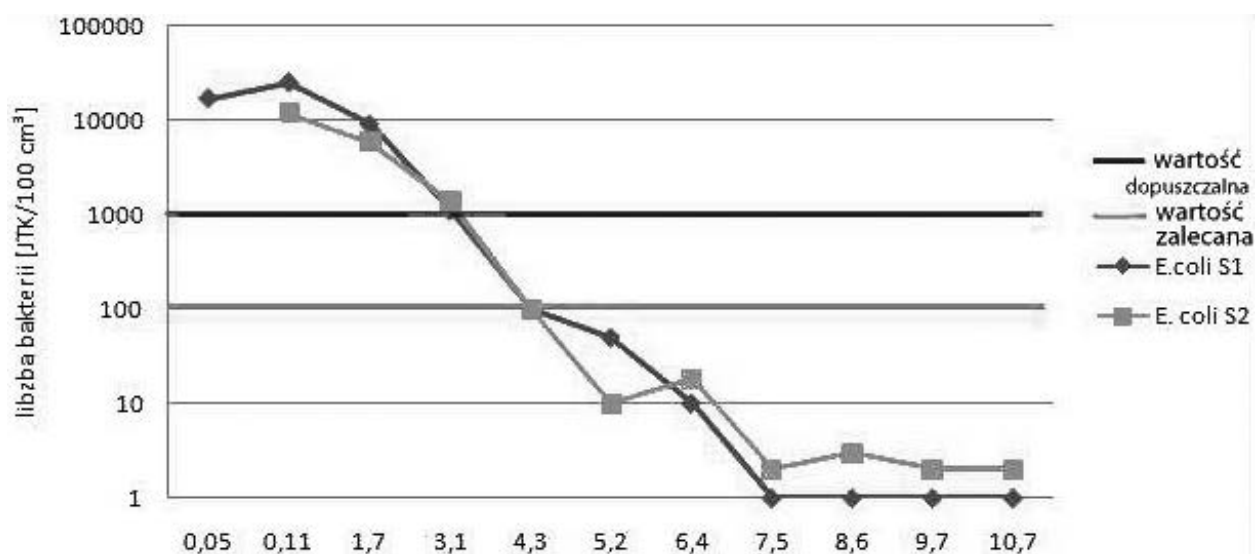
Wyniki badań stopnia redukcji liczby bakterii *E. coli* oraz paciorkowców kałowych w wyniku działania różnych dawek ozonu przedstawiono graficznie na rys. 5 i 6, zaznaczając na nich wartości liczby bakterii (JTK/100 cm³) odpowiadające wartościom dopuszczalnym według Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2011 roku oraz wartościom zalecanym ujmowanym w nieaktualnym już Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2002 roku.



Rys. 4. Charakterystyka oczyszczonych i dezynfekowanych ścieków z OS „Wschód” w Gdańsku



Rys. 5. Liczba paciorkowców kałowych w ściekach oczyszczonych w odniesieniu do zastosowanych dawek ozonu [mg O₃ · min/dm³]



Rys. 6. Liczba bakterii E. coli w ściekach oczyszczonych w odniesieniu do zastosowanych dawek ozonu [mg O₃ · min /dm³]

Tabl. 2. Niezbędne dawki ozonu w celu osiągnięcia wymaganych efektów dezynfekcji ścieków z OŚ „Wschód” w Gdańsku

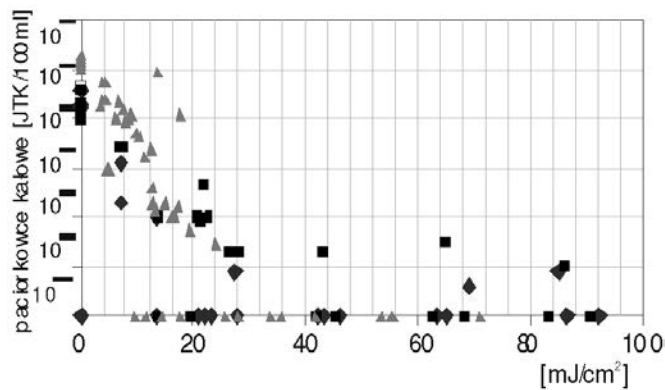
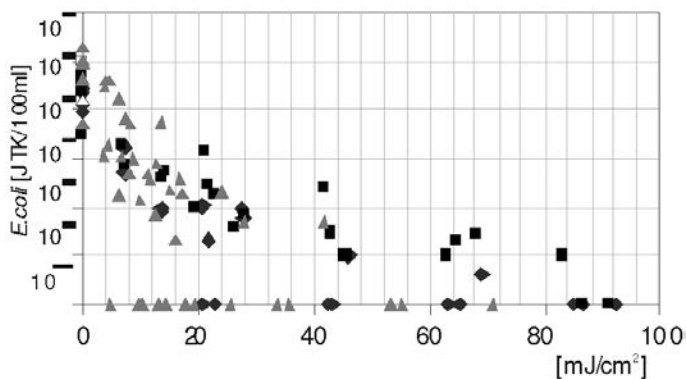
	Jakość wody	Wymagane stężenie O ₃ [mg · min/dm ³] dla:	
		Enterokoki jelitowe	Bakterie E. coli
Według Rozporządzenia Ministerstwa Zdrowia z 2002 roku	Zalecana	> 5,5	> 4,7
	Dopuszczalna	4,7 – 5,5	1,7 - 4,7
Według Rozporządzenia Ministerstwa Zdrowia z 2011 roku	Doskonała	> 5,5	>4,0
	Dopuszczalna	5,0 – 5,5	3,7 – 4,0

Przedstawione na rys. 5 i 6 wyniki badań pozwalają na następujące stwierdzenie: dla oczyszczonych biologicznie ścieków z oczyszczalni „Wschód” w Gdańsku dawki ozonu niezbędne do zapewnienia wartości zalecanych dla enterokoków jelitowych i bakterii E. coli wynoszą odpowiednio powyżej 5,5 [mg O₃ · min/dm³] i nie mniej niż 4,7 [mg O₃ · min/dm³].

Stwierdzenie powyższe, w innej formie, przedstawiono w tabl. 2.

Dezynfekcja ścieków z zastosowaniem promieniowania UV

Uwzględniając często wzmiankowaną w literaturze przedmiotu rolę mętności ścieków w efektywności dezynfekcyjnego działania promieniowania UV, przedmiotowe badania zrealizowano w dwóch wariantach. Jeden z nich polegał na natychmiastowym skierowaniu pobieranych ścieków do układu dezynfek-



Rys. 7. Liczba bakterii w ściekach z OŚ „Wschód” w Gdańsku, oczyszczonych po zastosowaniu różnych dawek UV

cyjnego. Drugi wariant uwzględniał wstępne podczyszczenie ścieków na filtrach piaskowych i dopiero po tej operacji ścieki poddawano dezynfekcji promieniami UV. Wyniki badań nad stopniem redukcji liczby bakterii *E. coli* oraz paciorkowców kałowych przedstawiono graficznie na rys. 7.

Badania wykazały, że aczkolwiek wstępne oczyszczenie ścieków na filtrach piaskowych przynosi zauważalne efekty w postaci wzrostu transmitancji, to jednak nie przynosi to istotnych efektów w postaci wzrostu efektywności niszczenia bakterii. Można uznać zatem, że w celu efektywnej dezynfekcji badanych ścieków z zastosowaniem promieniowania UV, oczyszczanie ich z zawiesiny nie jest konieczne. Najniższa dawka promieniowania UV, gwarantująca uzyskanie efektów odpowiadających wymogom Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2011 roku w odniesieniu do dopuszczalnej jakości wód w kąpieliskach wynosi 13 mJ/cm². Zwiększenie dawki potęguje dezynfekujące działanie promieniowania UV. W celu uzyskania jakości ścieków odpowiadających doskonałej jakości wód w kąpieliskach (według [1]), wymagana dawka promieniowania UV mieści się w zakresie od 30 do 50 mJ/cm².

Dezynfekcja ścieków z zastosowaniem filtracji membranowej

Filtracja membranowa okazała się najbardziej efektywną z trzech zastosowanych metod dezynfekcji ścieków z oczyszczalni „Wschód” w Gdańsku. Doprowadziła ona do praktycznie całkowitego usunięcia bakterii wskaźnikowych ze ścieków – efektywność na poziomie 5 log. Warto dodać, że efektywność na tym samym poziomie dotyczyła również usuwania bakterii heterotroficznych. W każdym przypadku uzyskiwano jakość ścieków odpowiadającą wszelkim wymogom prawnym odnoszącym się do doskonałej/pożądanego jakości wód w kąpieliskach. Uśrednione wyniki badań dezynfekcji przedstawiono w tabl. 3.

Badania mikrobiologiczne z wykorzystaniem mikroskopu epifluorescencyjnego

Badania laboratoryjne prowadzono metodą bezpośredniego zliczania komórek bakteryjnych i cząstek wirusopodobnych po wybarwieniu ich odpowiednimi fluorochromami w mikroskopie epifluorescencyjnym.

Tabl. 3. Liczba bakterii w ściekach oczyszczonych przed i po dezynfekcji metodą filtracji membranowej

Wskaźniki bakteriologiczne	Wartość średnia przed dezynfekcją	Wartość średnia po dezynfekcji
Liczba bakterii <i>E. coli</i> JTK / 100 ml	24 032	1
Liczba paciorkowców kałowych JTK / 100 ml	38 619	1

Metoda dezynfekcji z zastosowaniem ozonu:

Zastosowanie ozonowania spowodowało redukcję ogólnej liczby i biomasy komórek bakteryjnych. Po zastosowaniu dawki powyżej 7 mgO₃/dm³ redukcja ta wyniosła ponad 70% (rys. 8a,c).

Stwierdzono, że ozon w dawce powyżej 7 mgO₃/dm³ powoduje szczególnie niszczenie mniejszych komórek. Średnia objętość komórek bakteryjnych po zastosowaniu dawki ozonu do 5 mgO₃/dm³ spadała, a potem zaczęła rosnąć (rys. 8b).

Ozonowanie niszczy również skutecznie wiroplankton. W badaniach stwierdzono 99,9% redukcji cząstek wirusowych.

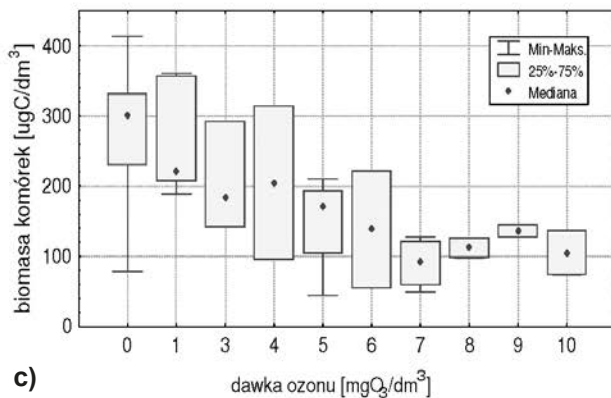
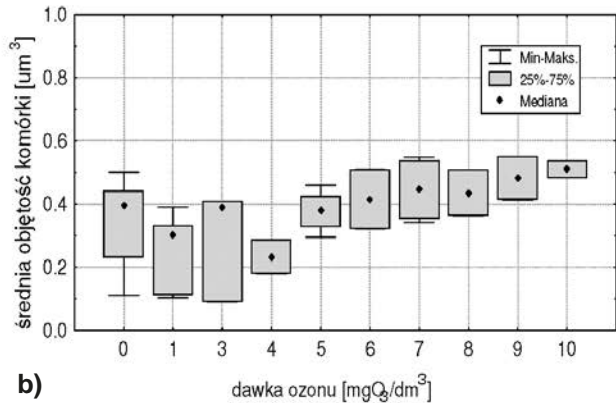
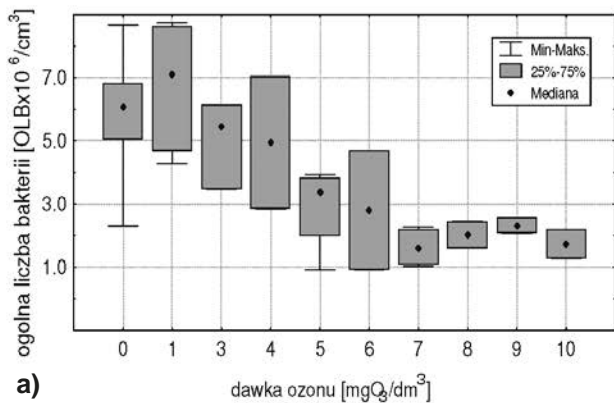
Metoda dezynfekcji z zastosowaniem promieniowania UV

Stwierdzono, że dezynfekcja ścieków oczyszczonych przy użyciu metody naświetlania promieniami UV spowodowała redukcję ogólnej liczby i biomasy bakterii o 50,5%. Promieniowanie UV nie wpływało znacząco na wielkość komórek bakteryjnych. Ich średnia objętość wahała się w przedziale od 0,5 mm³ do 2 mm³, niezależnie od zastosowanej dawki (rys. 9).

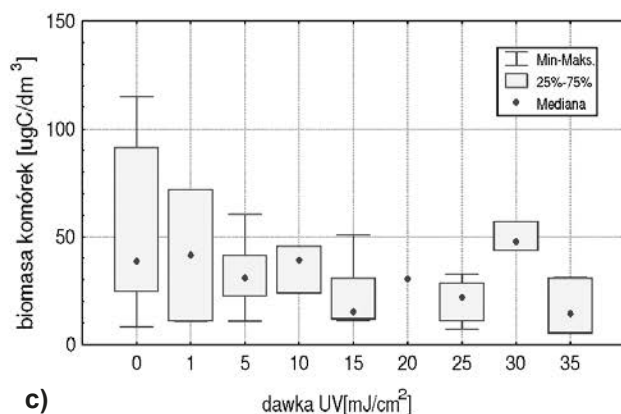
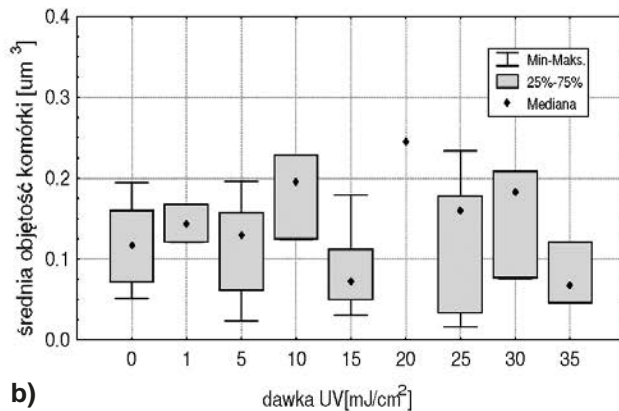
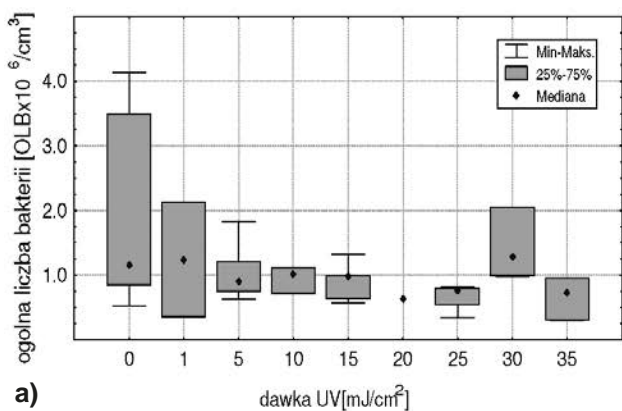
Promieniowanie UV mniej skutecznie niż ozonowanie czy filtracja membranowa usuwają wirusy. W badaniach stwierdzono, iż dezynfekcja ścieków oczyszczonych z zastosowaniem promieniowania UV redukuje liczbę cząstek wirusowych tylko o 70%.

Metoda dezynfekcji z zastosowaniem filtracji membranowej

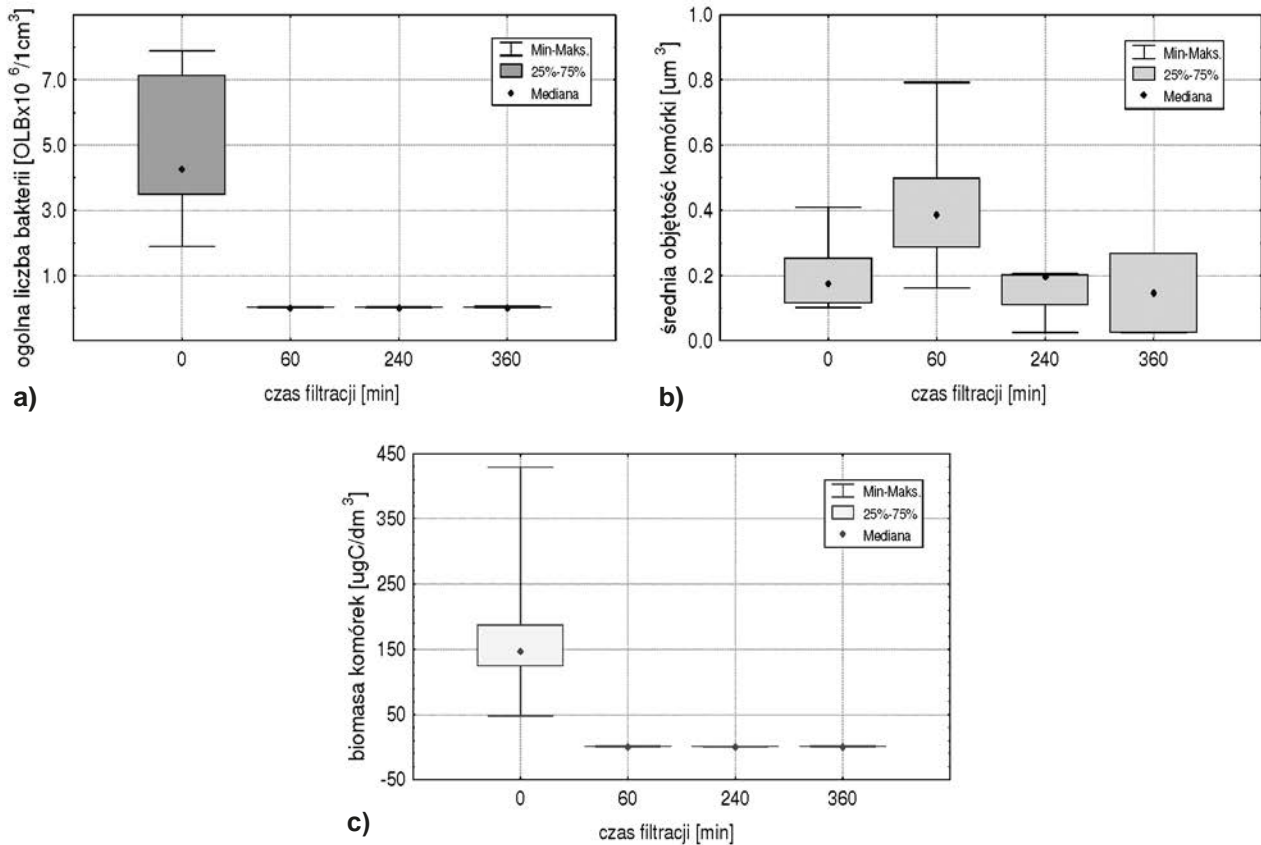
Wykazano, że filtracja membranowa powoduje eliminację zarówno komórek bakteryjnych, jak i cząstek wirusowych



Rys. 8. Zestawienie ogólnej liczby (a), średniej objętości komórek (b) i biomasy bakterii (c) w ściekach oczyszczonych poddanych dezynfekcji z zastosowaniem ozonowania



Rys. 9. Zestawienie ogólnej liczby (a), średniej objętości komórek (b) i biomasy bakterii (c) w ściekach oczyszczonych poddanych dezynfekcji promieniami UV



Rys. 10. Zestawienie ogólnej liczby (a), średniej objętości komórek (b) i biomasy bakterii (c) w ściekach oczyszczonych poddanych dezynfekcji przez filtrację membranową

prawie w 100%. Interesujący wydaje się fakt wzrostu średniej objętości komórek bakteryjnych w permeacie po 60 minutowej filtracji (rys. 10b). Prawdopodobnie wynika to z faktu niejednorodności stosowanych membran. Pod wpływem ciśnienia komórki o podłużnych kształtach (oceniane jako większe) przeciskają się łatwiej. Wskazują na to również prowadzone równoległe badania hodowlane, gdzie w permeacie wykrywano większą liczbę bakterii grupy coli (pałeczki) niż bakterii z grupy paciorkowców kałowych (ziarniaki).

Po zastosowaniu dezynfekcji ścieków oczyszczonych metodą filtracji membranowej również liczebność wirioplanktonu uległa znaczącej redukcji. Przed zastosowaniem tej metody dezynfekcji w ściekach oczyszczonych liczebność wirusów wyniosła $7,8 \cdot 10^9/\text{cm}^3$, natomiast po wprowadzeniu 360 minutowej filtracji membranowej już tylko $1,0 \cdot 10^7/\text{cm}^3$.

PODSUMOWANIE

1. Zastosowanie promieniowania UV, ozonowania i filtracji membranowej umożliwia efektywnie usuwać bakterie ze ścieków oczyszczanych biologicznie.
2. Minimalna skuteczna dawka ozonu stosowana w dezynfekcji ścieków oczyszczonych pochodzących z oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku wynosi $5,5 \text{ mg O}_3/\text{dm}^3$. Jest to dawka określona wobec enterokoków jelitowych, bardziej opornych na działanie ozonu niż bakterie *E. coli*.

Należy zaznaczyć, że metoda przyczynia się do dalszej poprawy parametrów fizyczno-chemicznych ścieków.

3. Promieniowanie UV, zależnie od dawki i rodzaju bakterii, pozwala na obniżenie liczby bakterii nawet o cztery rzędy wielkości (dawki promieniowania odpowiednio od $10 \div 50 \text{ mJ}/\text{cm}^2$). Jako najmniejszą skuteczną dawkę UV do dezynfekcji odpływu z oczyszczalni ścieków należy przyjąć $13 \text{ mJ}/\text{cm}^2$.
4. W przypadku badanych ścieków z oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku wydłużenie czasu ich naświetlania promieniami UV stanowi alternatywę przy stosowaniu wstępnego doczyszczania na złożach filtracyjnych.
5. Filtracja membranowa (na poziomie granicznym mikro-/ultrafiltracja) pozwala usuwać bakterie na bardzo wysokim poziomie (rzędu 5 log). Proces dodatkowo umożliwia dalszą poprawę fizyczno-chemicznych parametrów ścieków.
6. Ścieki oczyszczone po zastosowaniu filtracji membranowej mogą być bezpiecznie odprowadzone do odbiornika bez zagrożenia stanu sanitarnego kąpielisk Zatoki Gdańskiej. Proces jest jednak bardzo kosztowny, zarówno pod względem inwestycyjnym, jak i eksploatacyjnym (skomplikowany układ technologiczny, konieczność stosowania stosunkowo wysokich ciśnień, skomplikowane i częste czyszczenie membran, utylizacja zużytych roztworów czyszczących), co znacząco ogranicza jego powszechne wykorzystanie.

7. Do badań procesów dezynfekcji ścieków zaleca się stosować mikroskop epifluorescencyjny. Oprócz szybkiego określenia efektów (skuteczności) działania różnych czynników dezynfekcyjnych, pozwala on również na ocenę wpływu tych czynników na strukturę przestrzenną mikroorganizmów (wielkość i kształt, forma występowania indywidualnego bądź w aglomeratach itp.).

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 8.04.2011 w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpielii. Dz.U. 2011.86.478.
2. Świątecki A.: Zastosowanie komputerowej analizy obrazu w badaniach wody. Zeszyty Nauk. WSP, 6 Prace Biologiczne, Olsztyn 1997, 105-112.