

OCENA STANU SANITARNEGO WODY
ANTROPOGENICZNEGO ZBIORNIKA WODNEGO
DZIERŻNO DUŻE

MACIEJ KOSTECKI¹, ALEKSANDRA SMYŁŁA²,
ALEKSANDRA STARCZYŃSKA²

¹ Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska – Polska Akademia Nauk, ul. M. Skłodowskiej-Curie 34,
41-819 Zabrze

² Uniwersytet Śląski, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Katedra Mikrobiologii, ul. Jagiellońska 14,
40-032 Katowice

Keywords: microbiology, antropopresion, dam-reservoirs.

THE SANITARY CONDITIONS ESTIMATION
OF DAM-RESERVOIR DZIERŻNO DUŻE

In 1998 microbiological investigation of water on eleven sample points, of the greatest antropogenic reservoir in the West-part of Upper Silesian Region was carried out. Total numbers of *psychrophiles*, *mesophiles*, *Coli-form* bacteria was determined. In the estuary of Kłodnica river *Coli*-coefficient was 0.00004, coefficient of *Coli*-faecal type was 0.0009. These values indicate severe water pollution with faecal matter over the standards for waters and sewage waters. With the distance from estuary of Kłodnica river microbiological pollution factors decrease was observed. After 1 km *Coli*-coefficient was 100-product decrease. In the sample point at the end of longitude profile, near the dam vicinity, values of those indicators successfully decreased to 0.1 of the *Coli*-form and 1 for *Coli*-faecal type. In the 4 sample points along the length of left bank of second part of reservoir (West-part) the differentiation of water quality was observed between I and III quality classes. Decrease of numbers of faecal streptococci by flow-line from 6000 in the estuary of the Kłodnica river to 15 in the pelagic point and 4 in the end of reservoir was determined. Decrease in microbiological factor is the greatest on the first 1000 meters of longitude profile of the reservoir. Very important in decrease of bacteria numbers is sedimentation process of allochthonic suspended solids.

Streszczenie

W 1998 roku przeprowadzono badania stanu sanitarnego wody największego w zachodniej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego antropogenicznego zbiornika wodnego na 11 wybranych stanowiskach zbiornika. Określono ogólną liczbę bakterii na agarze odżywcym (bulionowym) po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 20°C oraz 37°C, bakterii z grupy *coli*, typu

fekalnego oraz paciorkowców kałowych. U ujścia rzeki Kłodnicy do jeziora Dzierżno Duże stwierdzono miano grupy *coli* 0,000004, a miano *coli* typu fekalnego 0,0009. Są to wartości wskazujące na bardzo silne zanieczyszczenia wód fekaliami, wykraczające poza skalę wszelkich norm dla wód i ścieków. Wraz z odległością od ujścia rzeki Kłodnicy obserwowano zmniejszenie zarówno miana grupy *coli*, jak i miana *coli* typu fekalnego. W odległości około 1 km miano grupy *coli* malało około 100-krotnie, a miano *coli* typu kałowego 10-krotnie. Wartości te ulegały dalszemu zmniejszeniu wzdłuż linii nurtu odpowiednio aż do 0,1 i 1 na końcu jeziora, co pozwala zaseregować wody na wypływie do I klasy czystości. Podobne wyniki uzyskano określając indeks *coli*. W wyznaczonych wzdłuż linii brzegowej (lewy brzeg) 4 stanowiskach obserwowano zróżnicowanie w jakości wody: wodę na stanowisku 8 zaklasyfikowano do III klasy czystości, natomiast na stanowisku 9, zależnie od pory roku, od I do III klasy. Stwierdzono zmniejszenie NPL paciorkowców kałowych wzdłuż linii nurtu z około 6000 u ujścia Kłodnicy do kilkunastu na „głębocku” i kilku na końcu jeziora. W wyniku procesów samooczyszczania następuje silne zmniejszenie ogólnej liczebności drobnoustrojów, zmniejszenie wszystkich badanych wskaźników sanitarnych na odcinku pierwszego kilometra osi zbiornika. Spadek liczebności bakterii następuje wraz ze wzrostem przezroczystości wody. Szczególne znaczenie w procesie poprawy stanu sanitarnego w badanym zbiorniku odgrywa sedymentacja zawiesin alochtonicznych.

WSTĘP

Antropogeniczne zbiorniki wodne na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego znajdują się pod wyjątkowo silnym, niekorzystnym wpływem przemysłu i rolnictwa, wyrażającym się ilością i specyfiką ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych. Powoduje to, że zmiany w nich zachodzące przebiegają z niespotykaną gdzie indziej dynamiką i intensywnością. Skierowanie do wyeksploatowanego wyrobiska kopalni piasku podsadzkowego – często o znacznej wielkości powierzchni i głębokości – silnie zanieczyszczonych wód rzeki powoduje kształtowanie się nowych, specyficznych z punktu widzenia procesów samooczyszczania, uwarunkowań środowiskowych [9–12]. Od procesów mikrobiologicznych zależy prawidłowe funkcjonowanie i stabilność ekologiczna ekosystemów wodnych [1, 2, 5, 8, 15]. Drobnoustroje występujące w wodach można podzielić na dwie zasadnicze grupy: autochtoniczne (miejscowe) i alochtoniczne (naniesione) [13, 14]. Ze ściekami miejskimi i niektórymi przemysłowymi do zbiornika dostawać się mogą bakterie chorobotwórcze. Jeśli mikroflora alochtoniczna natrafi w wodzie na odpowiednie warunki, może się dalej rozwijać, lub – jeśli warunki rozwoju są dla niej nieodpowiednie – może w niej przetrwać w stanie wegetatywnym lub przetrwalnikowym [14, 15]. Liczebność bakterii w jeziorach, podobnie jak w zbiornikach zaporowych, zależy od rodzaju wody dopływającej i od troficzności zbiornika. W jeziorach oligotroficznych ogólna liczba bakterii – badana metodą bezpośredniego liczenia na filtrach membranowych w 1 cm³ – wynosi 500 000 komórek, w jeziorach mezotroficznych waha się od 500 000 do 1,5 mln, a w jeziorach eutroficznych osiąga średnio 2–4 mln, przy czym w niektórych przewyższa nawet 10 mln [5]. W strefie przybrzeżnej jeziora, bezpośrednio stykającej się z otaczającymi glebami, liczba bakterii w wodzie jest zawsze większa niż na środku jeziora. Stwierdza się również różnice w liczebności bakterii, w pionowym rozmieszczeniu mikroorganizmów w wodzie. W głębszych jeziorach oligotro-

ficznych najczęściej bakterii występuje w epilimnionie. W jeziorach mezo- i eutroficznych, które rzadko mają większą głębokość, pionowe rozmieszczenie bakterii jest bardziej równomierne. Jedynie w okresie zakwitów i masowego obumierania fitoplanktonu można obserwować znaczne zwiększenie liczebności bakterii w warstwie skoku termicznego lub wodzie przydennej [5, 6, 13, 15].

Ścieki komunalne niosą ogromną liczbę drobnoustrojów: wirusów, bakterii i grzybów, z których większość należy do typowej flory heterotroficznej żyjącej w przewodzie pokarmowym ludzi i zwierząt wyższych i wydalana jest z kałem, a czasem również z moczem [3, 15]. Typowi przedstawiciele mikroflory przewodu pokarmowego ludzi i zwierząt to: *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, *Clostridium perfringens*. Są one uważane za istotne i obowiązujące w wielu krajach wskaźniki zanieczyszczenia sanitarnego wody, gdyż ich obecność wskazuje na możliwość wystąpienia bakterii chorobotwórczych [3, 6, 13]. Oznaczenie paciorkowców kałowych pozwala na określenie stopnia skażenia kałowego wody, podobnie jak bakterii z grupy *coli*, jednak paciorkowce wykazują dłuższą przeżywalność w wodzie i większą odporność na działanie chloru niż bakterie z grupy pałeczki okrężnicy (np. *Escherichia coli*) [3, 6]. Wskaźnikiem zanieczyszczenia fekalnego są także beztlenowce z rodzaju *Clostridium* redukujące siarczyny do siarczków [3, 13, 16]. Ich przeżywalność poza jelitem jest bardzo długa, dlatego obecność tych bakterii w wodzie nie świadczy bezpośrednio o świeżości zanieczyszczenia fekaliami środowiska, ale wskazuje, iż fakt ten miał kiedyś miejsce.

CEL BADAŃ

Jezioro Dzierżno Duże jest zbiornikiem, do którego wpływa rzeka Kłodnica, niosąca nie oczyszczone ścieki z terenu GOP-u. Do zbiornika okresowo przelewają się też wody Kanału Gliwickiego, które również wprowadzają dodatkowe ładunki zanieczyszczeń. Od wielu lat stan zanieczyszczenia mikrobiologicznego tego ekosystemu nie był kontrolowany. Ze względu na gospodarczą, rekreacyjną i przyrodotwórczą rolę zbiornika Dzierżno Duże w krajobrazie GOP, podjęto badania w celu oceny jego stanu sanitarnego. Ocenę tę oparto na wynikach oznaczeń:

- ogólnej liczby bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C;
- bakterii z grupy *coli*, w tym typu kałowego;
- paciorkowców kałowych;
- beztlenowych bakterii przetrwalnikujących, z rodzaju *Clostridium*.

OBIEKT BADAŃ

Dzierżno Duże jest największym (650 ha) i najgłębszym (20 m) zbiornikiem wód powierzchniowych w zachodniej części GOP. Wraz ze zbiornikami Dzierżno Małe (110 ha) i Pławniowice (225 ha) tworzy kompleks o łącznej

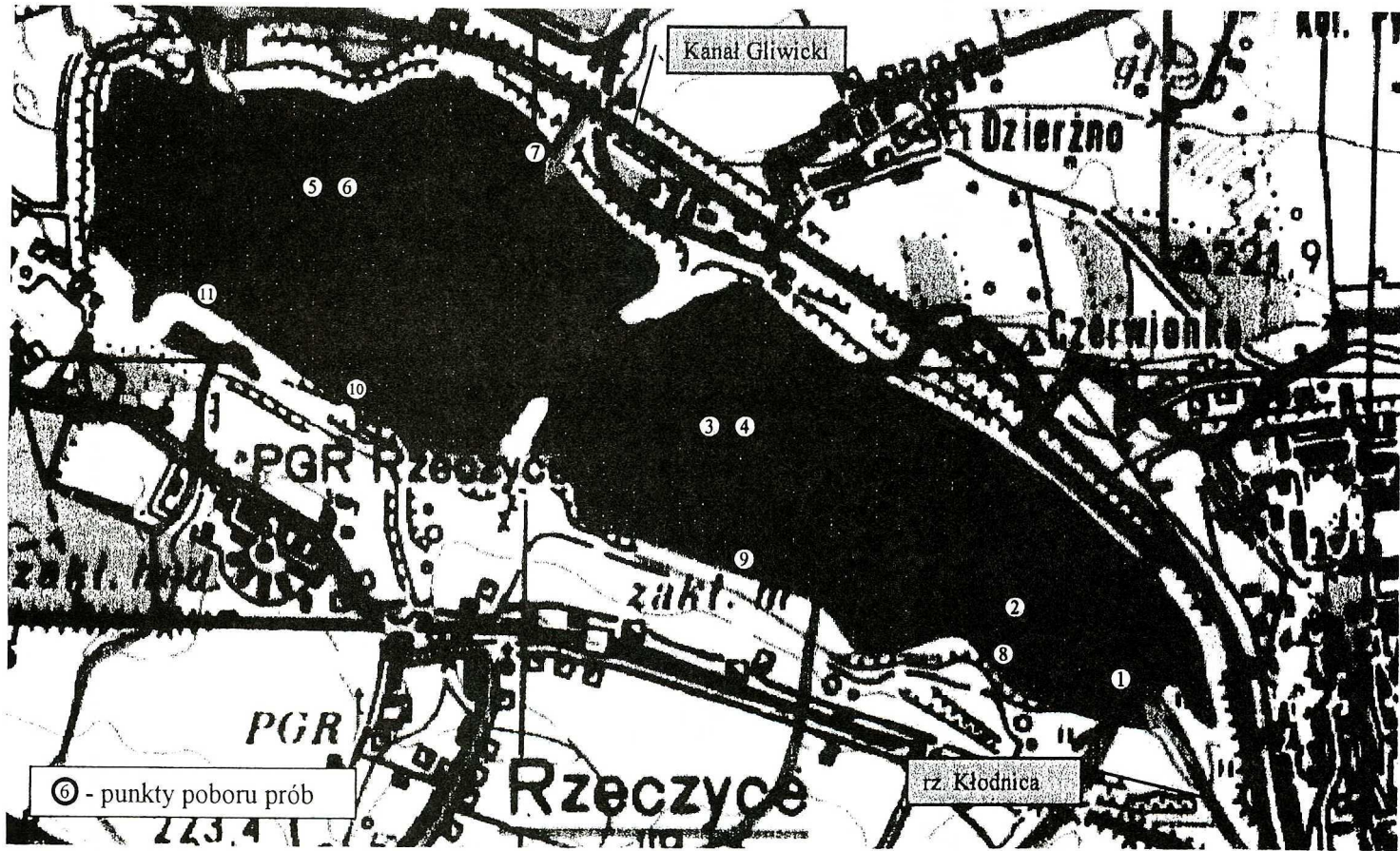
powierzchni około 10 km^2 [13]. Zasilany jest wodą rzeki Kłodnicy, ze względu na wysoki stan jej zanieczyszczenia ściekami komunalnymi i przemysłowymi pełni rolę oczyszczalni rzecznej (Rys. 1). Zbiornik Dzierżno Duże (nazwa zwyczajowa – Rzeczyce) w swojej obecnej postaci powstał w wyniku zalania wyrobisk popiaskowych, których eksploatację zakończono w 1964 roku. Całkowita objętość zbiornika wynosi około 95 mln m^3 . Linia brzegowa zbiornika jest słabo rozwinięta. Długość osi zbiornika wynosi około 7,0 km, maksymalna szerokość około 1,5 km, szerokość średnia około 1 km. Od strony zachodniej brzeg zbiornika stanowi zapora ziemna (tzw. wał zachodni). Mniej więcej w połowie długości osi w zbiorniku znajduje się przegroda w postaci podwodnej grobli (dzielącej dawną piaskownię na dwa wyrobiska). Grobla (przerwana w części środkowej) przy poziomie piętrzenia 202,5 m n.p.m. znajduje się około 7 m pod powierzchnią wody. W czasie niskich stanów wody głębokość ta zmniejsza się do około 2 m. W ten sposób zbiornik podzielony jest na dwa płosa – wschodnie i zachodnie.

METODYKA BADAŃ

STANOWISKA BADAWCZE I ICH OPIS

Badania zmian sezonowych mikroflory wody jeziora Dzierżno Duże prowadzono w roku 1998, pobierając próbki wody w miesiącach: maj, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik z następujących punktów poboru prób na zbiorniku:

- punkt nr 1 – stanowisko przy ujściu rzeki Kłodnicy do zbiornika;
- punkt nr 2 – stanowisko w odległości 1 km od punktu 1;
- punkt nr 3 – stanowisko na „głęбочku” (środek pierwszego płosa zbiornika – powierzchnia);
- punkt nr 4 – stanowisko na „głęбочku” (środek pierwszego płosa zbiornika – dno);
- punkt nr 5 – stanowisko na „głęбочku” (środek drugiego płosa na wysokości fermy hodowlanej – powierzchnia);
- punkt nr 6 – stanowisko na „głęбочku” (środek drugiego płosa na wysokości fermy hodowlanej – dno);
- punkt 7 – stanowisko przy brzegu – przelew z Kanału Gliwickiego;
- punkt 8 – stanowisko przy brzegu w pierwszej części zbiornika (500 m od ujścia rzeki);
- punkt nr 9 – stanowisko przy brzegu w pierwszej części zbiornika (2500 m od ujścia rzeki);
- punkt nr 10 – stanowisko przy brzegu na drugim płosie (6000 m od ujścia rzeki);
- punkt 11 – stanowisko przy brzegu na drugim płosie zbiornika (plaża, 6500 m od ujścia rzeki).



Rys. 1. Zbiornik Dzierżno Duże – rozmieszczenie punktów poboru prób
Dzierżno Duże reservoir – sampling points localization

BADANIA BAKTERIOLOGICZNE

Próbki wody pobierano czerpaczem Patalasa (do wysterylizowanych szklanych kolb) zgodnie z zaleceniami Polskich Norm: PN-75/C-04615/00, PN-88/C-04632/04. Próby powierzchniowe pobierano z dwóch głębokości: 30 cm, licząc od powierzchni wody oraz 1 m powyżej dna. W wodzie oznaczano następujące parametry mikrobiologiczne:

1) ogólną liczbę bakterii na agarze odżywcym, hodowanych na płytkach w temperaturze 20°C [7, 15, 17];

2) ogólną liczbę bakterii na agarze odżywcym, hodowanych na płytkach w temperaturze 37°C [7, 15, 17];

3) miano oraz NPL bakterii z grupy *coli* metodą fermentacyjną, próbkową na podłożu z laktozą i purpurą bromokrezolową, po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C [7, 8];

4) miano oraz indeks bakterii *coli* typu fekalnego po 24 godzinach inkubacji w temperaturze 44,5°C i badaniach potwierdzających w teście IMViC [7, 15];

5) NPL paciorkowców kałowych na pożywce płynnej z azydkiem sodu po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C [7, 15];

6) NPL beztlenowych bakterii przetrwalnikujących z rodzaju *Clostridium* metodą hodowli na pożywce płynnej z siarczynem sodu po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C [7, 14, 15, 16].

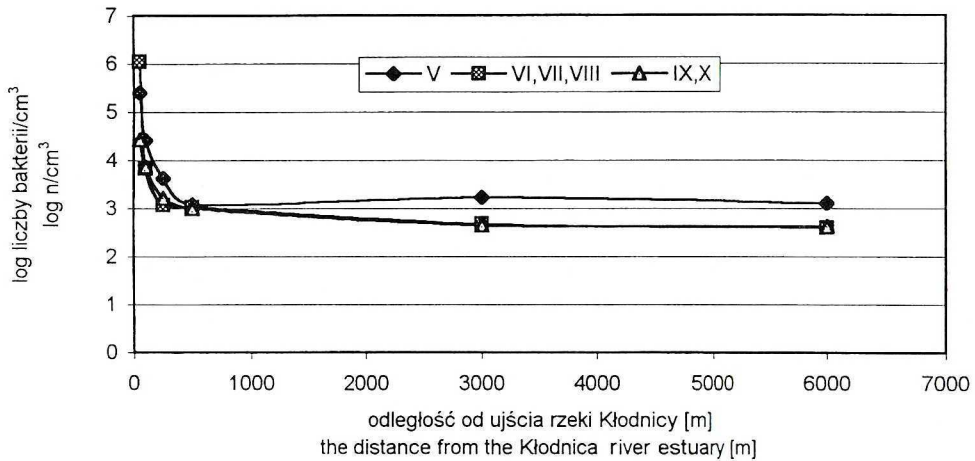
Równocześnie kontynuowano rozpoczęte wcześniej [13] pomiary widzialności krążka Secchiego.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki sezonowych zmian liczebności poszczególnych grup bakterii oraz wskaźników sanitarnych przedstawiono na rysunkach 2–13. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że najwyższe liczebności bakterii psychro- i mezofilnych oraz badanych wskaźników sanitarnych (miano *coli*, indeks *coli*, NPL paciorkowców kałowych i NPL *Clostridium*) otrzymano na stanowisku nr 1, u ujścia rzeki Kłodnicy. Przekraczały one kilkusetkrotnie liczbę odpowiednich bakterii w innych punktach zbiornika.

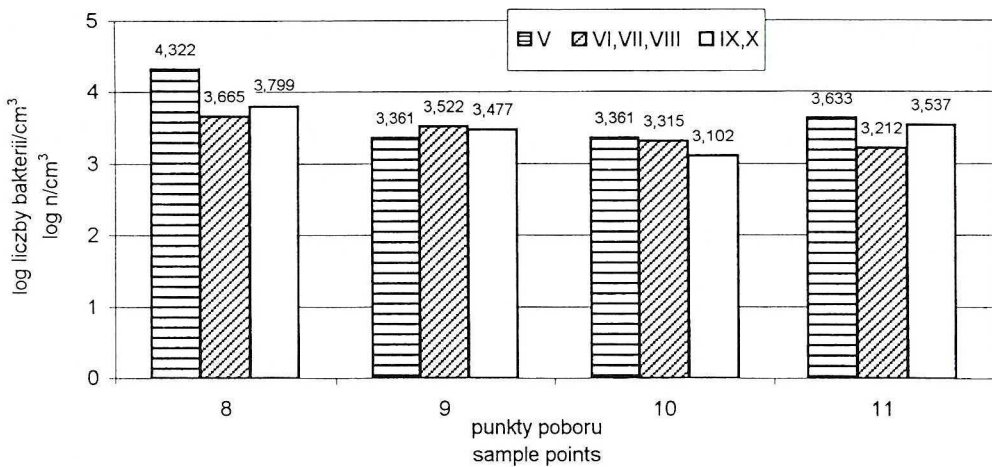
Liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C (Rys. 2, 3) wynosiła średnio około 60 000/cm³ na stanowisku 1, 25 000 na stanowisku 2, do kilku tysięcy kolonii na stanowiskach 5–10 i 1,5 mln/dm³ kolonii na stanowisku 11.

W wodzie na stanowisku 1 maksymalne ich liczebności stwierdzono w maju i czerwcu (do 3,2 mln), a od maja do września na stanowiskach 3 i 4; na stanowisku 5 w maju, sierpniu i wrześniu; na stanowiskach 9 i 10 w kwietniu oraz na stanowisku 11 w maju.



Rys. 2. Liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temperaturze 20°C w profilu podłużnym zbiornika

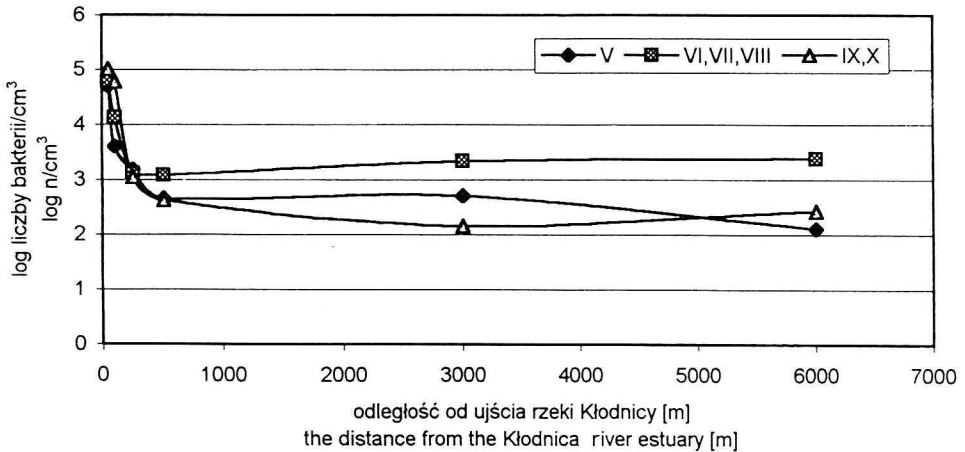
The numbers of psychrophiles in the longitude profile



Rys. 3. Liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywczym w temperaturze 20°C na stanowiskach przybrzeżnych

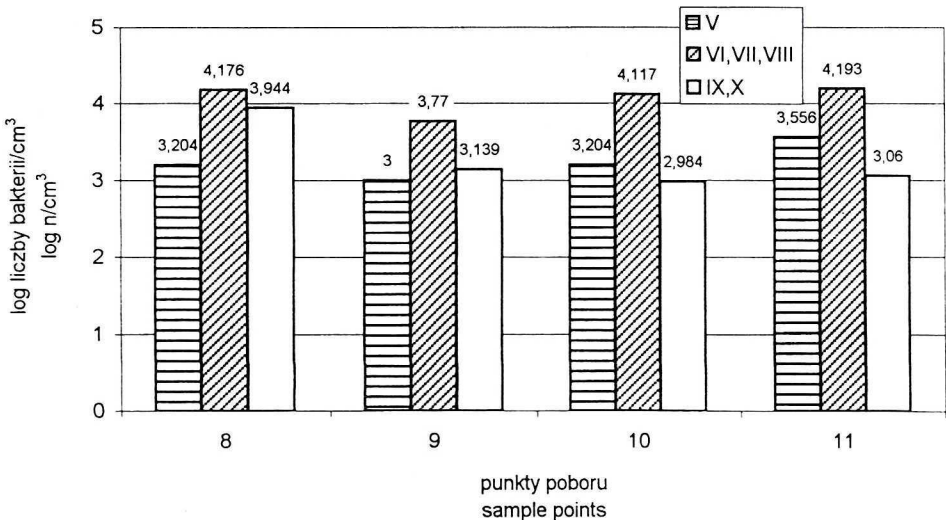
The numbers of psychrophiles on the bank sample points

Podobnie największą liczbę bakterii ($200\,000/\text{cm}^3$) oznaczanych na agarze w temperaturze 37°C stwierdzono na stanowisku 1; na stanowiskach 2 i 3 liczba ta była 10-krotnie niższa. Na stanowiskach 4–8 było ich około 2 tys./ cm^3 . Na stanowiskach 9 i 10 liczebność bakterii wynosiła około 1500 oraz na stanowisku 11 średnio około 1,5 mln/ cm^3 . Na stanowisku 1 najwięcej stwierdzono ich w czerwcu i wrześniu; na stanowiskach 3 i 4 – w sierpniu i wrześniu; na stanowisku 5 – w maju; na stanowisku 7 i 8 – w lipcu; na stanowiskach 9 i 10 maksimum stwierdzono w lipcu; na stanowisku 11 – w maju (Rys. 4 i 5).



Rys. 4. Liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C w przekroju podłużnym zbiornika

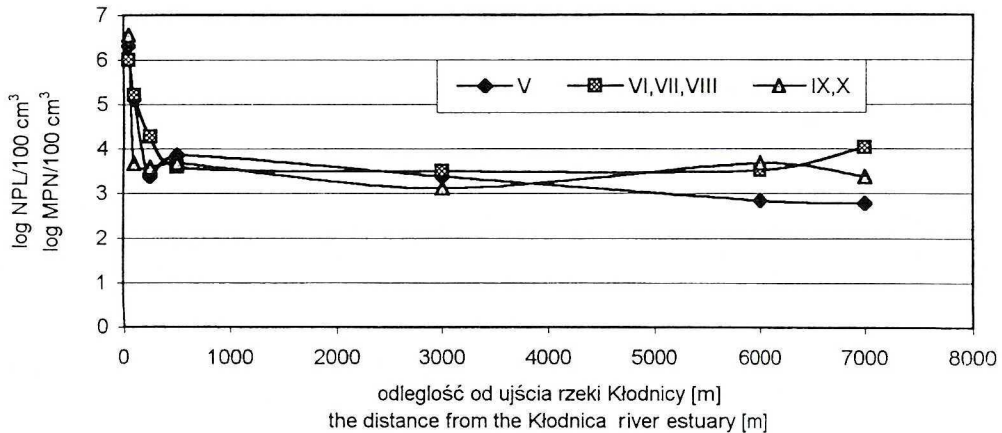
The numbers of mesophiles in the longitude profile



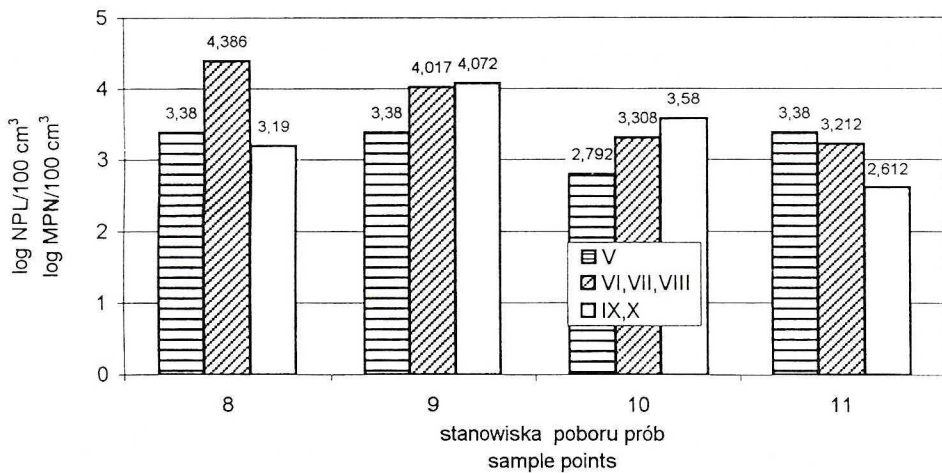
Rys. 5. Liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C na stanowiskach przybrzeżnych

The numbers of mesophiles bacteria on the bank sample points

W badaniach bakterii z grupy *coli* wysokie wartości NPL *coli* stwierdzono na stanowisku 1 (2,5 mln w 100 cm³) (Rys. 6). Na stanowisku 2 było ono dziesięciokrotnie mniejsze. Na stanowiskach 3–6 stwierdzono zbliżone wartości NPL *coli* w 100 cm³, wynoszące około 5000–6000. Na stanowiskach od 7 do 10 NPL *coli* wahało się od 2 do 3 tys./100 cm³ (Rys. 7). Na stanowisku 11



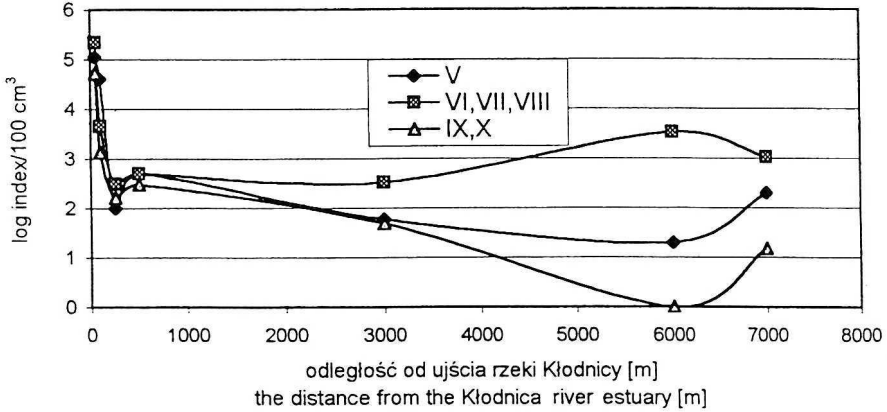
Rys. 6. NPL bakterii z grupy *coli* w profilu podłużnym zbiornika
MPN *Coli*-bacteria in the longitude profile



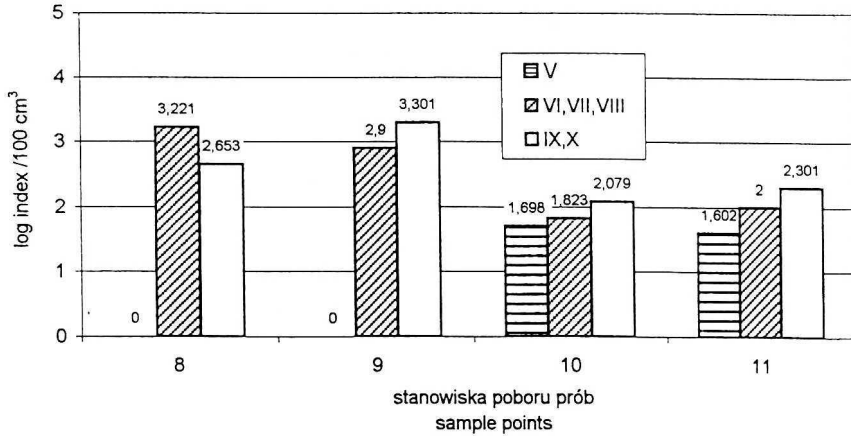
Rys. 7. NPL bakterii z grupy *coli* na stanowiskach przybrzeżnych
MPN of *Coli*-bacteria on the bank sample points

NPL grupy *coli* wynosiło około 5 tys./100 cm³. Obserwowano następujące wahania sezonowe w tej grupie: maksimum na stanowiskach 3 i 4 wystąpiło w sierpniu i wrześniu; na stanowisku 5 – w lipcu i sierpniu; na stanowisku 8 – w październiku; na stanowiskach 9 i 10 – w sierpniu; na stanowisku 11 – w lipcu.

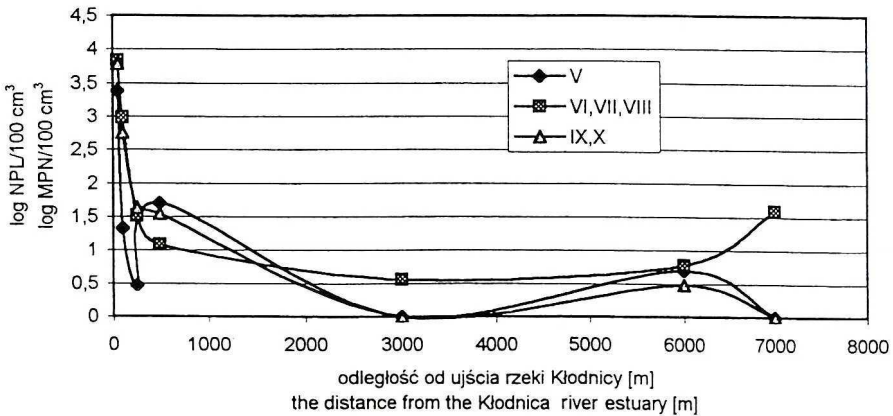
Wysokie wartości indeksu *coli* typu fekalnego (średnio około 100 000) stwierdzono na stanowisku 1 (Rys. 8 i 9). Ilości paciorkowców kałowych na tym stanowisku były podobne (Rys. 10 i 11).



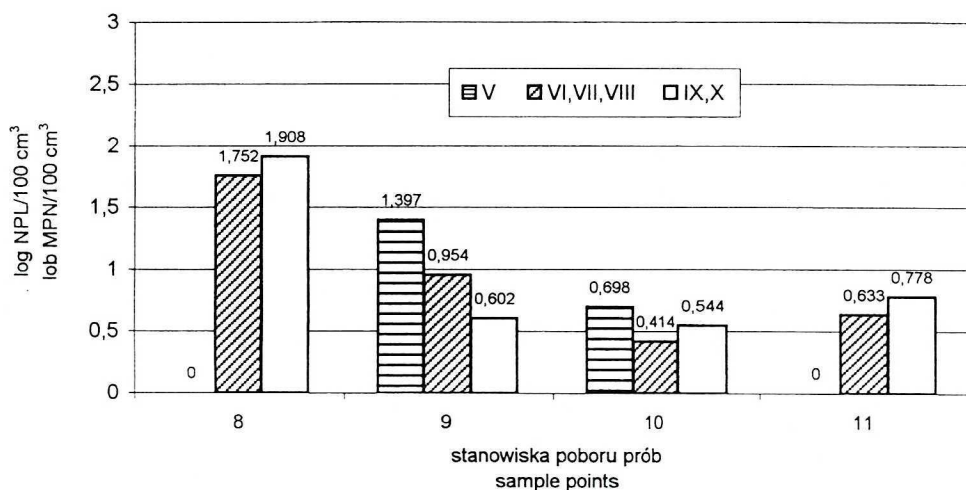
Rys. 8. Indeks *coli* typu fekalnego w profilu podłużnym zbiornika
Index of the faecal-type *Coli* in the longitude profile



Rys. 9. Indeks *coli* typu fekalnego na stanowiskach przybrzeżnych
Index of the faecal-type *Coli* on the bank sample points



Rys. 10. NPL paciorkowców kałowych w profilu podłużnym zbiornika
MPN of faecal-streptococci in the longitude profile



Rys. 11. NPL paciorkowców kałowych na stanowiskach przybrzeżnych
MPN of faecal-streptococci in the bank sample points

OMÓWIENIE WYNIKÓW

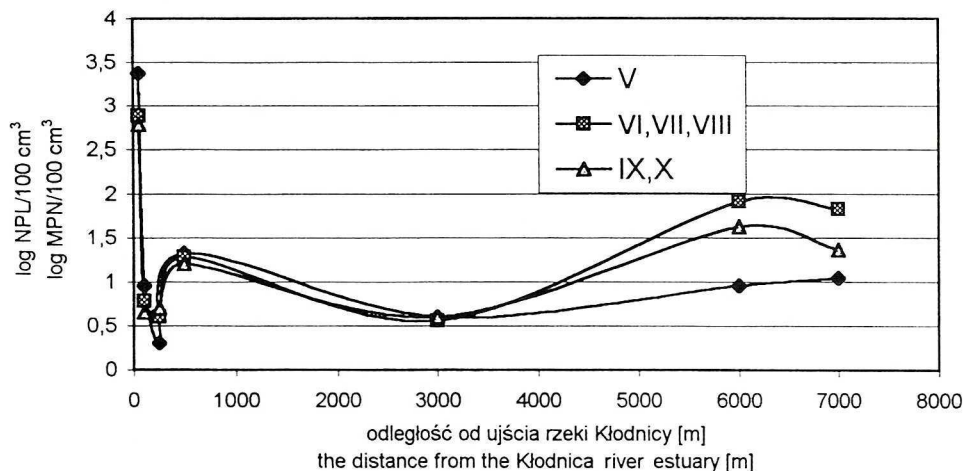
Jak wykazały wcześniejsze badania [13], zasilająca zbiornik Dzierżno Duże rzeka Kłodnica wnosi duży ładunek ścieków bytowych i przemysłowych. Wraz ze ściekami wnoszone są liczne drobnoustroje, m.in. *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, *Clostridium*, co wskazuje na występowanie w wodzie jeziora stałych zanieczyszczeń kałowych. Ponieważ bakterie te są zaliczane do wskaźników sanitarnych, to zgodnie z literaturą [3, 6, 14] można przypuszczać, iż istnieje możliwość występowania całego spektrum drobnoustrojów chorobotwórczych zarówno bakterii, jak i wirusów czy grzybów.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (Dz.U. nr 116. 1991 r.) określa parametry mikrobiologiczne tylko dla trzech klas czystości wód powierzchniowych, nie określa natomiast tych parametrów dla ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych i gleby. Można by jednakże pokusić się o przybliżenie takich wartości przez zanalizowanie innych podanych wskaźników – tzw. najwyższych dopuszczalnych wskaźników podstawowych. I tak najwyższe dopuszczalne wskaźniki podstawowe wynoszą:

- zawiesina ogólna – 50 mg, co odpowiada wartościom III klasy czystości wód;
- BZT₅ – 30 mg/dm³, czyli około 3-krotnie przekracza ilość przewidzianą dla III klasy czystości wód, a od 1.01.2000 prawie mieści się w III klasie;
- azot amonowy – 6 mg, co odpowiada III klasie czystości wód;
- azot azotanowy – 30 mg, co 2-krotnie przekracza wartości III klasy.

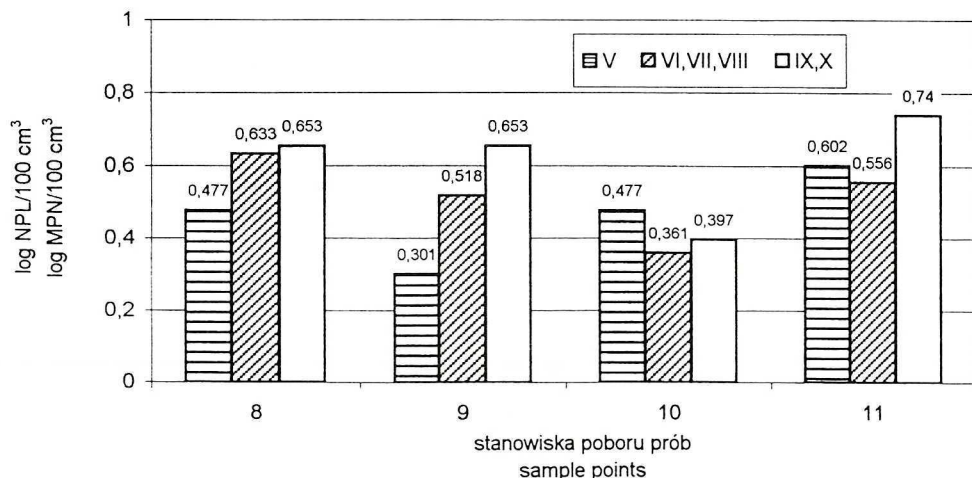
Jak widać z tego krótkiego zestawienia, większość najwyższych dopuszczalnych wartości mieści się w granicach III klasy czystości wód lub też je przekracza (maksymalnie 3-krotnie). Należałoby więc się spodziewać, że nieliczne

parametry mikrobiologiczne cytowane w ustawie, jak miano *coli* typu kałowego, również nie będą przekraczane więcej niż trzykrotnie w porównaniu z III klasą czystości wód. Rzeczywistość jest jednak inna. Przy ujściu rzeki Kłodnicy obserwujemy zanieczyszczenie bakteriami *coli* typu kałowego, czyli świadczącymi o świeżym zanieczyszczeniu fekaliami, aż 100-krotnie przekroczone w porównaniu z wartościami dla III klasy czystości. Również inne grupy wskaźnikowe, jak paciorkowce kałowe czy bakterie z rodzaju *Clostridium*, świadczą, że odprowadzanie ścieków nie jest sporadyczne czy przypadkowe. Wody powierzchniowe, a zwłaszcza wody płynące i zbiorniki z wodą prze-



Rys. 12. NPL beztlenowych bakterii przetrwalnikujących z rodzaju *Clostridium* – profil podłużny zbiornika

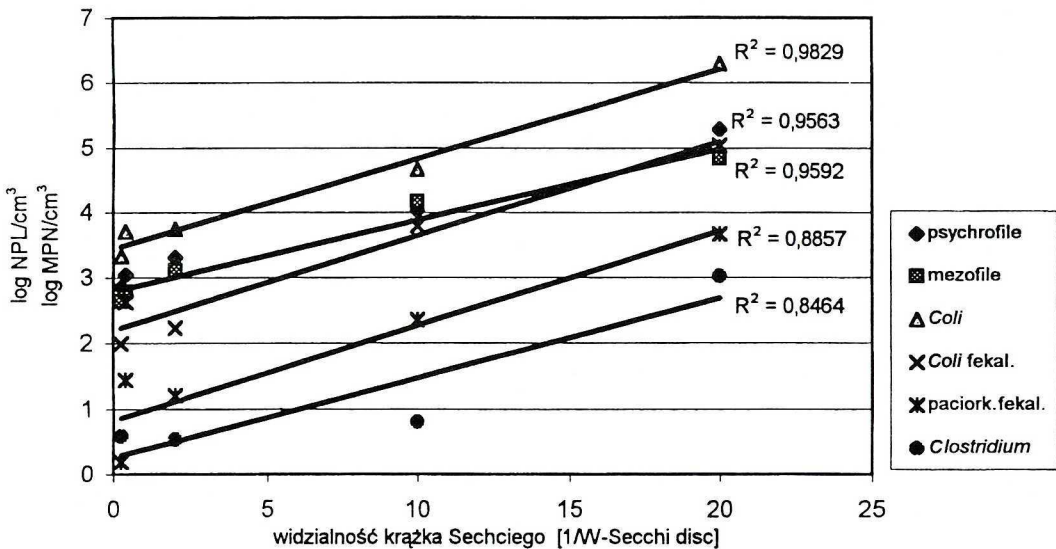
MPN spored *Clostridium* bacteria – longitude profile



Rys. 13. NPL beztlenowych bakterii przetrwalnikujących z rodzaju *Clostridium* na stanowiskach przybrzeżnych

MPN of spored *Clostridium* bacteria on the bank sample points

plywającą, cechującą się znaczną zdolnością do samooczyszczania [14–16]. Proces samooczyszczania wód powierzchniowych wpływa na kształtowanie się warunków ekologicznych w miarę oddalania się od źródła zanieczyszczenia [15]. Na proces samooczyszczania wpływa przede wszystkim rozcieńczenie zanieczyszczeń wodą odbiornika, a następnie (w wodach płynących) sedymentacja, czyli stałe osadzanie się zawiesiny na dnie zbiornika w postaci osadów. Sedymentacja jest uzależniona od prędkości liniowej przepływu i zachodzi tylko w miejscach, gdzie woda płynie na tyle wolno, że zawieszona cząstki mogą opaść na dno [15]. Prowadzone pomiary zmian widzialności krążka Secchiego [13] wykazały, że najsilniejszy wzrost przezroczystości wody następuje na odcinku około 500 m od ujścia Kłodnicy, wzdłuż osi zbiornika. Zmiany przezroczystości wody pozostają w ścisłym związku ze zmianami liczebności bakterii, co przedstawiono na wykresie (Rys. 14).



Rys. 14. Zależność liczebności bakterii od przezroczystości wody
The relationship between numbers of bacteria and visibility of Secchi disc

Jak istotna jest rola procesu sedymentacji zawiesiny allochtonicznej, wnoszonej do zbiornika z wodą rzeki Kłodnicy, świadczą wyniki pomiarów opadalności (Rys. 14). Ponad 95% ładunku zawiesiny osiada na dnie w czasie 30 minut. Ponieważ pomiary wykonywano w leju Spilnera, w warunkach statycznych, można przypuszczać, że w warunkach turbulencyjnego ruchu wody przepływającej przez zbiornik czas opadalności zawiesiny będzie znacznie dłuższy, a zatem będzie wpływał – razem z szybkością liniową przepływu wody – na zasięg opadającej zawiesiny. Z uzyskanych wyników można wnosić, że w zbiorniku Dzierżno Duże procesy samooczyszczania są bardzo intensywne. Uwagę zwraca strefa największej reaktywności, tworząca się w pobliżu

ujścia do zbiornika rzeki Kłodnicy. Zasięg tej strefy szacuje się na około 400–700 m wzdłuż osi zbiornika. Wśród wszystkich przebadanych parametrów mikrobiologicznych oraz wskaźników sanitarnych największe wartości obserwowano właśnie w tej strefie, po czym na przestrzeni 1 km, tj. do punktu 2 wszystkie te wskaźniki malały od kilku, kilkudziesięciu do kilkuset razy. Ogólna liczebność bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C w maju zmniejsza się dziesięciokrotnie na długości około 1 km, (stanowiska poboru 1, 2), dalszy, około stukrotny spadek następuje w porównaniu ze stanowiskiem 10. W czerwcu spadek wynosi z około 3 mln na stanowisku 1 do 8000 na stanowisku 2 i 660/cm³ na stanowisku 10.

Obserwowano spadek liczebności bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 37°C z 50000/cm³ przy wpływie Kłodnicy do około 4000/cm³ kilometr dalej (stan. 2) oraz do około 130/cm³ na końcu jeziora. Wyniki te wskazują, że procesy samooczyszczania zachodzą najintensywniej na przestrzeni około jednego kilometra od ujścia rzeki Kłodnicy i dzięki temu większość flory allochtonicznej nie jest przenoszona dalej. Wraz z odległością od źródła zanieczyszczenia zmniejsza się w wodzie zawartość substancji organicznej, a co za tym idzie, spada ogólna liczebność mikroorganizmów.

W biologicznym usuwaniu zanieczyszczeń główną rolę odgrywa mineralizacja, czyli enzymatyczny rozkład związków organicznych przez drobnoustroje. Hydroliza białka przez bakterie odbywa się za pomocą enzymów proteolitycznych wydzielanych na zewnątrz komórki. Aktywność ektoenzymatyczna bakterii wodnych w znacznym stopniu uzależniona jest od temperatury, stężenia tlenu, stężenia i dostępności potencjalnych substratów czy obecności potencjalnych inhibitorów (np. H₂S lub jony kadmu) [6]. Spadek liczebności drobnoustrojów obserwowano również wśród testowanych organizmów wskaźnikowych: miana bakterii z grupy *coli*, miana bakterii grupy *coli* typu fekalnego, NPL paciorkowców kałowych i NPL bakterii z rodzaju *Clostridium* redukujących siarczyny. Miano bakterii grupy *coli* spadało z 10⁻⁶ (0,000004) na stanowisku 1 przy ujściu Kłodnicy do 0,1 na stanowisku poboru nr 10.

Dotychczas w Polsce najczęściej preferowane w analizie sanitarnej było określanie miana lub NPL bakterii z grupy *coli*, obecnie coraz częściej podaje się w wątpliwość przydatność grupy *coli* jako dobrego wskaźnika zanieczyszczenia fekalnego, ponieważ część bakterii włączonych do tej grupy występuje również w środowisku naturalnym [17]. Dużo lepszym wskaźnikiem jest miano, indeks czy NPL *coli* typu fekalnego [3, 7, 14]. Przy ujściu rzeki Kłodnicy do zbiornika stwierdzono miano typu fekalnego rzędu 10⁻⁴ (0,0009), na stanowisku 2 – 0,001, a na środku zbiornika (stanowisko 5) i przy wypływie – 1,0. Znaczne wahania miana *coli* typu fekalnego obserwowano na stanowisku 10 – przy brzegu zbiornika. Spowodowane to było prawdopodobnie dodatkowymi niekontrolowanymi dopływami ścieków, być może ze znajdującej się w pobliżu zbiornika fermy tuczu trzody chlewnej.

Wody w punktach 10 i 11 (lewy brzeg w drugiej części jeziora) zaklasyfikowano do I lub II klasy czystości. Znaczne pogorszenie czystości wody obserwowano w punkcie poboru usytuowanego w pobliżu Kanału Gliwickiego, którego wody okresowo przelewają się do jeziora i wprowadzają wody zanieczyszczone mikrobiologicznie. Miano *coli* typu fekalnego wynosiło od 1 do 0,01, NPL *coli* w 100 cm³ – 5 000, a ogólna liczebność bakterii mezofilnych wynosiła niekiedy 1,5 mln komórek w 1 cm³.

Stwierdzono zmniejszenie liczebności paciorkowców kałowych wzdłuż linii nurtu z około 6000 NPL/100 cm³ u ujścia Kłodnicy do kilkunastu NPL/100cm³ na „głęboczku” i kilku NPL/100cm³ na końcu zbiornika. Dostatecznie duże ich liczebności, zwłaszcza w czerwcu i lipcu, obserwowano w pobliżu Kanału Gliwickiego. Największe ilości beztlenowych bakterii przetrwalnikujących, redukujących siarczyny oprócz ujścia Kłodnicy obserwowano przy dnie na wypływie z jeziora oraz w punkcie przelewu Kanału Gliwickiego.

Badania przeprowadzone na rzece Czarnej Hańczy [14] wykazały maksymalne liczebności bakterii i zły stan sanitarny wód doprowadzanych z oczyszczalni ścieków w Suwałkach, a następnie znaczny spadek ich liczebności dopiero na odcinku tej rzeki poniżej jeziora Wigry. Nastąpiło 100-krotne obniżenie miana bakterii grupy *coli*, 40-krotne obniżenie NPL *coli* typu kałowego i 10-krotne zmniejszenie liczebności paciorkowców kałowych. Występowanie bakterii z rodzaju *Clostridium* obserwowano w rzece dopiero poniżej miejsca zrzutu ścieków z miasta Suwałki. W tym przypadku jezioro Wigry spełniało poniekąd rolę stawu sedymentacyjnego dla bakterii alochtonicznych i zanieczyszczeń wnoszonych do jeziora, co przypomina sytuację zbiornika Dzierżno Duże, będącego przedmiotem badań.

Przeżywalność bakterii alochtonicznych w wodzie jest wynikiem zarówno czynników biotycznych, jak i abiotycznych. Wyżerowywanie przez pierwotniaki jest jednym z głównych biologicznych procesów kontrolujących liczebność bakterii alochtonicznych i zależy od możliwości drapieżców.

Wiele czynników fizyczno-chemicznych powoduje obniżenie aktywności fizjologicznej bakterii, co objawia się ich przejściem w stan przetrwalnikowy i uniemożliwia ich wykrycie metodami hodowlanymi. Stan ten podawany jest w literaturze jako „viable but non-culturable state”. Głodne bakterie mają tendencję do zmniejszania się i generalnie obserwuje się wzmoczenie ich oporności na temperaturę, tlenowy czy osmotyczny szok. Brak pożywienia, temperatura, stres osmotyczny i światło widzialne są abiotycznymi czynnikami mającymi negatywny wpływ na przeżywalność mikroorganizmów w wodzie [2].

Porównując przeżywalność szczepu *Escherichia coli* K-12 W3110 w sterylnej i niesterylnej wodzie, stwierdzono [4], że w niesterylnej rzecznej wodzie w ciągu 10 dni liczba tych bakterii zmniejsza się do mniej niż 10 komórek w 1 cm³. W sterylnej wodzie rzecznej, przy braku mikroflory rodzimej oraz pierwotniaków, przeżywalność była znacznie dłuższa i wynosiła około 100 dni.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania stanu sanitarnego wody zbiornika Dzierżno Duże wskazują na bardzo silne zanieczyszczenia wody zasilającej zbiornik zanieczyszczeniami typu fekalnego. Zanieczyszczenie to wykracza poza skalę wszelkich norm dla wód i ścieków. W zbiorniku tym zachodzą bardzo intensywne procesy samooczyszczania, wyrażające się spadkiem liczebności bakterii w wodzie. Liczebność bakterii oraz pozostałe wskaźniki mikrobiologiczne zmniejszają się w miarę wzrostu odległości od ujścia rzeki Kłodnicy do zbiornika. W przyzaporowej części zbiornika woda osiąga stan I klasy czystości. Zmiany stanu sanitarnego wody na stanowiskach przybrzeżnych, klasyfikujące wodę od I do III klasy czystości, wskazują na występowanie w pobliżu stanowiska 4 dodatkowego źródła zanieczyszczeń, prawdopodobnie niekontrolowanych zrzutów ścieków do jeziora. Jak w każdym układzie homeostatycznym, tak i w badanym zbiorniku istnieją jednak pewne granice pojemności, dlatego też przy tak ogromnym stałym dopływie ścieków może wkrótce nastąpić załamanie się całego układu. Pozostanie wówczas zaakceptowanie stanu zdegradowania zbiornika lub jego bardzo kosztowna rekultywacja.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono silną zależność między liczbą bakterii a przezroczystością wody zbiornika (Rys. 14). Wskazuje ona na rolę zarówno zawieszin wnoszonych do zbiornika przez rzekę Kłodnicę jako elementu zanieczyszczenia, wraz z którym wnoszone są drobnoustroje, jak i na sedymentację zawieszin jako na proces decydujący o liczbie bakterii w wodzie badanego zbiornika. Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wzdłuż osi zbiornika Dzierżno Duże, w wyniku przebiegających intensywnie procesów samooczyszczania, następuje silny spadek liczebności bakterii.

2. Decydującą rolę w poprawie stanu sanitarnego wody zbiornika odgrywa proces sedymentacji zawieszin alochtonicznych przy ujściu rzeki Kłodnicy do zbiornika.

3. W obecnym stanie zanieczyszczenia mikrobiologicznego zbiornika Dzierżno Duże, wynikającego przede wszystkim z faktu, iż jest on zasilany wodą rzeki Kłodnicy będącej odbiornikiem m.in. ścieków komunalnych z silnie zurbanizowanej i uprzemysłowionej zlewni, możliwości wykorzystywania zbiornika do celów rekreacyjnych (kapielisko) są ograniczone.

4. Aby można było wykorzystywać wody w drugiej części zbiornika Dzierżno Duże do celów rekreacyjnych, należałoby radykalnie zmniejszyć liczbę nie oczyszczonych ścieków odprowadzanych do rzeki Kłodnicy oraz zlikwidować niekontrolowane zrzuty ścieków dokonywane z brzegów jeziora.

5. Za celowe uważa się wprowadzenie stałego monitorowania stanu sanitarnego wód zbiornika, okresowo zaś przeprowadzanie badań na obecność bakterii potencjalnie chorobotwórczych, takich jak: *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* i rodzaju *Salmonella*.

Badania zbiornika Dzierżno Duże, na podstawie których wykonana została niniejsza praca, zostały sfinansowane ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach.

LITERATURA

- [1] Atlas R.M., R. Bartha: *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*, Addison-Wesley Publ. Comp., London 1981.
- [2] Barcina I., P. Lebaron, J. Vives-Rego: *Survival of allochthonous bacteria in aquatic systems: a biological approach*, FEMS Microbiology Ecology, **23**, 1–9 (1997).
- [3] Bitton G.: *Wastewater Microbiology*, Wiley-Liss, Inc. New York 1994.
- [4] Bogosian G., L.E. Sammons, P.J.L. Morris, J.P. O'Neil, M.A. Heitkamp, D.B. Weber: *Death of the Escherichia coli K-12 strain W3110 in Soil and Water*, Appl. Environm. Microbiol., **62**(11), 4114–4120 (1996).
- [5] Chróst R.J.: *Znaczenie procesów mikrobiologicznych dla intensywności występowania symptomów eutrofizacji wód. Procesy Biologiczne w Ochronie i Rekultywacji Nizinnych Zbiorników Zaporowych*, Biblioteka Monitoringu Środowiska (pod red. M. Zalewskiego), Łódź 1995.
- [6] Gajewski A.J.: *Znaczenie ektoenzymów produkowanych przez mikroorganizmy w procesach przekształceń i degradacji biopolimerów organicznych w ekosystemach wodnych*, Post. Mikrobiol., **33**(4), 513–541 (1994).
- [7] Grabińska-Łoniewska A.: *Ćwiczenia laboratoryjne z mikrobiologii ogólnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [8] King O.E., M.K. Ward, D.E. Raney: *Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein*, J. Lab. Clin. Med., **44**, 301–307 (1954).
- [9] Kostecki M.: *Chemizm wód oraz podstawowe wskaźniki określające intensywność krążenia materii w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach*, Arch. Ochr. Środ., **3–4**, 163–182 (1977).
- [10] Kostecki M.: *Dynamika przemian oraz wstępny bilans podstawowych form azotu i fosforu w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach*, Arch. Ochr. Środ., **1**, 57–85 (1978).
- [11] Kostecki M.: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Tresna. Część IV. Dynamika przemian oraz bilans podstawowych form azotu w wodzie zbiornika*, Arch. Ochr. Środ. **3–4**, 71–89 (1992).
- [12] Kostecki M.: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Tresna. Część V. Dynamika przemian oraz bilans podstawowych form fosforu w zbiorniku i jego dopływach*, Arch. Ochr. Środ. **3–4**, 91–107 (1992).
- [13] *Limnologiczne badania zbiornika zaporowego Dzierżno Duże. Ocena stopnia skażenia środowiska wodnego i osadów dennych w aspekcie procesów samooczyszczania*, Prace Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Temat: C2-812/98, Raport końcowy (nie publikowana), Zabrze 1998.
- [14] Niewolak S.: *The Evaluation of the Contamination Degree and The sanitary and bacteriological State of the Waters in the Czarna Hańcza River in the Region of Suwałki and Wigry National Park*, P. J. Environm. Studies, **7**(4), 229–241 (1998).
- [15] Paluch J., S. Niewolak: *Mikroflora wód*, [w:] *Mikrobiologia Wód*, (red. J. Paluch), PWN, Warszawa 1973.
- [16] Pawlaczyk-Szpilowa M.: *Mikrobiologia wody i ścieków*, PWN, Warszawa 1980.
- [17] Ulfing K.: *Mikrobiologiczne badania gleby, osadów dennych i powietrza atmosferycznego w Gliwicach-Łabędach*, Raport 150/ZOW/88. Inst. Ochr. Środowiska w Katowicach, Katowice 1989.