

**Monika Cieszyńska*, Maria Bartoszewicz*, Małgorzata Michalska*,
Jacek Nowacki*, Marek Wesołowski****

**CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH
WÓD WYBRANYCH CIEKÓW NA TERENIE GMINY GDAŃSK**

**CHARACTERISTIC OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF
SELECTED WATERCOURSES IN THE AREA
OF GDAŃSK MUNICIPALITY**

Słowa kluczowe: wody powierzchniowe, ocena jakości wód rzecznych, parametry opisujące jakość wód, Gmina Gdańsk.

Key words: surface water, assessment of river water quality, parameters describing water quality, Gdańsk Municipality.

The aim of the study was to assess water quality of eight watercourses (Strzyża, Kanał Raduni, Martwa Wisła, Rozwójka, Motława, Potok Siedlicki, Potok Jelitkowski, Potok Oruński) situated within the limits of Gdańsk Municipality. The research was performed in the period of 2000–2007, by examination of surface water at different sites: both highly urbanized or developed lands as well as recreational areas (parks, forests). Each watercourse was sampled monthly at two locations. One was situated at the upper course of the watercourse, while the other was close to its mouth.

Eight parameters which describe water quality were analyzed in each sample: total suspended solids content, concentrations of dissolved oxygen, total nitrogen and total phosphorus, oxygen saturation, water temperature, chemical and biochemical oxygen demand. In 2004 the study was extended and three additional parameters were measured: chlorides concentration, electrical conductivity and pH of water. Interpretation of the obtained results revealed that examination

* Dr Monika Cieszyńska, mgr Maria Bartoszewicz, dr Małgorzata Michalska, dr Jacek Nowacki – Zakład Ochrony Środowiska i Higieny Transportu, Międzywydziałowy Instytut Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdański Uniwersytet Medyczny, ul. Powstania Styczniowego 9b, 81-519 Gdynia; tel.: 58 349 37 65; e-mail: cieszynskam@amg.gda.pl

** Prof. dr hab. Marek Wesołowski – Katedra i Zakład Chemii Analitycznej, Wydział Farmaceutyczny, Gdański Uniwersytet Medyczny, al. Gen. J. Hallera 107, 80-416 Gdańsk; tel.: 58 349 31 20; e-mail: marwes@amg.gda.pl

of basic physicochemical parameters permits to discriminate initially watercourses with respect to extent of water contamination.

The study also demonstrated that in the course of time concentration of organic pollutants oxidized by potassium permanganate slightly declined, whereas average annual concentration of biogenic substances, such as nitrogen and phosphorus increased.

1. WPROWADZENIE

Zasadniczym celem badań była ocena jakości wód wybranych cieków zlokalizowanych w granicach Gminy Gdańsk. Znaczenie podjętego zagadnienia wynika m.in. z powszechnego stosowania wody, która odpowiednio oczyszczona (uzdatniona) jest używana do spożycia, do celów gospodarczych oraz w przemyśle jako rozpuszczalnik, substrat lub katalizator reakcji chemicznych [Dojlido 1987]. Woda stanowi także jeden z podstawowych składników wszystkich żywych organizmów, umożliwiający przemianę materii i biorący udział w wielu procesach biochemicznych, a ponadto stanowi dla licznych zwierząt i roślin jedyne środowisko życia.

Biorąc powyższe pod uwagę, podjęto badania monitoringowe jakości wód powierzchniowych ośmiu cieków: Strzyży, Kanału Raduni, Martwej Wisły, Rozwójki, Motławy oraz potoków: Siedlickiego, Jelitkowskiego i Oruńskiego. W tym celu we wszystkich próbkach wody pobranych dla każdego cieku oznaczono w latach 2000–2003 osiem parametrów, które charakteryzują jakość wód:

- zawartość zawiesin ogólnych,
- stężenie tlenu rozpuszczonego,
- temperaturę wody,
- nasycenie tlenem,
- biologiczne i chemiczne zapotrzebowanie na tlen

oraz

- stężenie fosforu i azotu całkowitego.

W latach 2004–2007 w tych samych próbkach wody oznaczono trzy kolejne parametry (łącznie 11) – a mianowicie poza ośmioma wymienionymi wyżej określono także:

- stężenie chlorków,
- przewodnictwo elektrolityczne

oraz

- pH wody.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał do badań stanowiły próbki wody powierzchniowej pobrane z ośmiu cieków wodnych, zlokalizowanych na obszarze Gminy Gdańsk. Punkty pomiarowe oznaczo-

no umownie kolejnymi cyframi od 1 do 8. Stanowiska badawcze wybrano w taki sposób, że jedno (oznaczone cyfrą z literą a) znajdowało się w górnym odcinku biegu ciek, drugie natomiast w odcinku ujściowym (cyfra bez dodatkowego oznaczenia), w jego odcinku dolnym. Wyjątek stanowił ciek Rozwójka, z którego próbki pobierano wyłącznie w jednym miejscu. Zestawienie analizowanych cieków, przyjęte w pracy nazwy punktów pomiarowych oraz współrzędne geograficzne stanowisk badawczych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Nazwy badanych cieków na obszarze Gminy Gdańsk wraz z umownie przyjętymi oznaczeniami stanowisk pomiarowych oraz ich dokładną lokalizacją

Table 1. Names of the studied watercourses in the area of Gdansk Municipality with notation of measurement points and their exact localization

Nazwa cieków wodnego	Umowne oznaczenie	Lokalizacja punktu pomiarowego	Współrzędne geograficzne punktu pomiarowego	
			długość (E)	szerokość (N)
Strzyża	1	ul. Swojska	18° 38,549'	54° 22,544'
	1a	ul. Kiełpińska	18° 34,160'	54° 21,969'
Kanał Raduni	2	ul. Więcierze	18° 39,540'	54° 21,359'
	2a	most, ul. Nowiny	18° 37,812'	54° 19,347'
Martwa Wisła	3	most Siennicki	18° 40,763'	54° 21,340'
	3a	most pontonowy Sobieszewo	18° 39,487'	54° 20,494'
Rozwójka	4	most, ul. Sztutowaska	18° 43,376'	54° 20,628'
Motława	5	Targ Rybny	18° 39,554'	54° 21,218'
	5a	most, ul. Olszyńska	18° 39,020'	54° 20,100'
Potok Siedlicki	6	ul. Nowe Ogrody	18° 38,246'	54° 21,105'
	6a	ul. Kartuska	18° 35,595'	54° 20,731'
Potok Jelitkowski	7	Park Jelitkowski	18° 35,735'	54° 25,478'
	7a	przed Kuźnią Wodną	18° 32,251'	54° 24,285'
Potok Oruński	8	Park Oruński	18° 37,749'	54° 19,370'
	8a	skrzyż. ul. Niepołomicka i Kampinowska	18° 35,700'	54° 19,095'

Próbki do badań pobierano w latach 2000–2007. Z każdego ciek, z wyjątkiem ciek 4 (Rozwójka), pobierano raz w miesiącu dwie próbki przy użyciu plastikowego czerpaka do płynów, ze środka nurtu ciek, z głębokości ok. 20 cm. W nielicznych wypadkach, w których nie było możliwości pobrania próbek ze środka nurtu ciek (Martwa Wisła i Motława), próbki pobierano z odległości równej maksymalnej długości wysięgnika czerpaka, tj. w odległości ok. 3 m od brzegu.

We wszystkich badanych próbkach oznaczono osiem parametrów charakteryzujących jakość wód:

- zawartość zawiesin ogólnych,
- stężenie tlenu rozpuszczonego,
- temperaturę wody,
- nasycenie tlenem,
- biochemiczne zapotrzebowanie na tlen,
- chemiczne zapotrzebowanie na tlen,
- stężenie fosforu całkowitego

oraz

- stężenie azotu całkowitego.

Od roku 2004 we wszystkich próbkach wody oznaczano dodatkowo trzy parametry (łącznie było ich 11). Poza ośmioma wyżej wymienionymi określano:

- stężenie chlorków,
- przewodnictwo elektrolityczne

oraz

- odczyn wody (pH) [Hermanowicz i in. 1999].

Wszystkie fizykochemiczne parametry wody oznaczano niezwłocznie po dostarczeniu próbek do laboratorium. Unikano przechowywania próbek wody, ponieważ w tym czasie ich skład chemiczny ulegałby zmianie [Hermanowicz 1984].

3. WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

3.1. Ocena jakości wód badanych ścieków

Ogólną charakterystykę uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 2. Szczegółowa analiza tych danych pozwala stwierdzić, że właściwości wody dwóch cieków: Potoku Jelitkowskiego i Rozwójki, wyraźnie odbiegają od właściwości wody w pozostałych ciekach na obszarze Gminy Gdańsk. Potok Jelitkowski wyróżnia najmniejsze spośród wszystkich cieków obciążenie zanieczyszczeniami. W całym okresie badawczym (lata 2000–2007), ciek ten charakteryzowała najmniejsza zawartość zanieczyszczeń organicznych, czego dowodem są najmniejsze średnie roczne wartości zarówno biochemicznego, jak i chemicznego zapotrzebowania na tlen. Ponadto w próbkach wody z Potoku Jelitkowskiego zanotowano najniższe stężenia związków azotu i fosforu (TN, TP). Wyjątek stanowił rok 2000, w którym najniższe średnie stężenie fosforu całkowitego wykryto w Kanale Raduni. W latach 2002 i 2006 woda w Potoku Jelitkowskim zawierała najmniej materii zawieszanej (TSS), a w latach 2006 i 2007 stężenie jonów chlorkowych było w niej najmniejsze. Woda Potoku Jelitkowskiego w całym badanym okresie, oprócz roku 2002, była również najbardziej nasycona tlenem.

Do cieków raczej czystszych i o względnie zbliżonych właściwościach fizykochemicznych wody zaliczyć można Kanał Raduni, Motławę oraz Strzyżę. Kanał Raduni charakteryzowało stosunkowo niskie stężenie fosforu całkowitego, najniższe ze wszystkich cieków w latach 2000 i 2005, mała zawartość jonów chlorkowych oraz słabe przewodnictwo elektrolityczne wody (najniższe stężenia Cl⁻ oraz EC w latach 2004 i 2005). Wody rzeki Motławy znamionowała mała zawartość materii zawieszanej, średnio najmniejsza ze wszystkich cieków w latach 2000, 2001, 2003 i 2004. Z kolei Strzyżę, oprócz największej koncentracji zawiesiny w latach 2000 i 2001, wyróżniło najwyższe stężenie tlenu rozpuszczonego w latach 2002, 2004 oraz 2006.

Bardziej zanieczyszczone niż Kanał Raduni, Strzyża oraz Motława wydają się być trzy inne ciek: Martwa Wisła, Potok Siedlicki oraz Potok Oruński. Martwa Wisła zwraca

Tabela 2. Wyniki analiz jakości wód cieków zlokalizowanych w obrębie Gminy Gdańsk prowadzonych w latach 2000–2007
Table 2. The results of water quality analyses of watercourses located in the area of Gdańsk Municipality carried out in the period of 2000–2007

Nazwa ciek	TSS [mg/l]		DO [mg O ₂ /l]		T [°C]		OS [%]		BZT ₅ [mg O ₂ /l]		ChZT _{min} [mg O ₂ /l]		TP [mg/l]		TN [mg/l]		Cl [mg/l]		EC [μS·cm ⁻¹]		pH	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Strzyża 1, 1a	1,2	1208,0	5,2	14,5	0,0	22,2	52,4	138,2	0,4	11,0	2,3	25,5	0,01	0,98	0,50	12,84	6,3	394	112	1663	6,68	9,65
Kanał Raduni 2, 2a	0,3	83,7	2,2	14,4	0,1	22,4	23,4	119,6	0,4	15,3	2,6	35,7	0,01	1,25	0,21	16,70	7,6	1607	123	5570	6,84	9,03
Martwa Wisła 3, 3a	2,0	39,6	3,9	13,4	0,1	22,9	43,5	121,0	0,5	8,9	4,6	21,5	0,03	2,46	0,10	17,00	21,0	5934	490	10880	6,89	8,97
Rozwójka 4	0,9	44,0	0,4	11,3	1,0	22,7	4,3	104,9	0,7	18,4	7,3	33,0	0,02	1,40	0,61	17,10	68	957	1155	18822	6,88	8,28
Mofława 5, 5a	0,8	49,8	3,1	13,5	0,1	22,9	35,4	117,4	0,3	7,9	3,2	25,0	0,01	0,62	0,16	15,40	11,7	2557	67	8320	7,08	8,96
Potok Siedlicki 6, 6a	1,0	432,0	2,3	13,8	0,1	25,7	24,0	114,6	0,8	9,7	3,3	19,4	0,01	0,55	0,24	15,90	10,9	395	392	1717	6,36	9,07
Potok Jelitkowski 7, 7a	1,2	82,4	6,1	13,9	0,1	21,4	57,4	105,8	0,4	7,2	1,9	23,3	0,01	0,82	0,11	11,1	9,6	100	296	935	6,38	8,42
Potok Oruński 8, 8a	0,6	532,0	5,1	14,9	0,1	23,5	48,0	114,9	0,4	9,4	5,4	21,0	0,03	1,73	0,42	15,00	27,8	231	490	1315	7,37	9,37

uwagę niezwykle wysokimi średnimi rocznymi stężeniami fosforu całkowitego oraz najwyższym stężeniem chlorków w wodzie i największym przewodnictwem elektrolitycznym wody. Próbkę pobrane z Martwej Wisły w roku 2007 zawierały również średnio najwięcej ze wszystkich cieków azotu całkowitego. Dla Potoku Siedlickiego specyficzna jest dość znaczna i zmienna w czasie zawartość materii zawieszanej w wodzie (największa w latach 2003, 2006 i 2007), a w roku 2004 w potoku tym zanotowano również największą spośród wszystkich cieków wartość BZT₅. Potok Oruński, podobnie jak Potok Siedlicki, charakteryzuje okresowy wzrost koncentracji materii zawieszanej. W Potoku Oruńskim stwierdzono najwyższe spośród badanych cieków stężenia TSS w latach 2002, 2004 i 2005. Potok Oruński to także ciek o najniższej średniej temperaturze wody w latach 2001–2005. Należałoby również zaznaczyć, że w potoku tym stwierdzono pewien wzrost, w porównaniu do innych cieków, zanieczyszczeń organicznych, co potwierdzają duże wartości ChZT w roku 2004 i BZT₅ w roku 2005 oraz podwyższona wartość pH wody.

Drugim obok Potoku Jelitkowskiego ciekami o poziomie zanieczyszczenia wody znacznie odbiegającym od pozostałych jest Rozwójka, w której w całym okresie badawczym niemal wszystkie parametry fizykochemiczne osiągnęły ekstremalne wartości. Małe nasycenie tlenem wody w Rozwójce, będące wynikiem najniższego ze wszystkich cieków średniego stężenia tlenu rozpuszczonego oraz najwyższej temperatury, wskazywać może na znaczny stopień obciążenia wody zanieczyszczeniami. Odzwierciedlają to największe średnie wartości chemicznego zapotrzebowania na tlen, oprócz roku 2004, oraz największe ze wszystkich cieków biochemiczne zapotrzebowanie na tlen, z wyjątkiem lat 2004 i 2005. Ciek Rozwójka charakteryzowała przy tym do roku 2006 najwyższe stężenie azotu całkowitego, a w latach 2000–2003 również stężenie fosforu całkowitego. Zaobserwowano również w cieku Rozwójka najbardziej kwaśny spośród wszystkich cieków odczyn wody (najniższa wartość pH).

Analizując zmienność parametrów fizykochemicznych w trakcie ośmiu lat badań stwierdzono, że w większości cieków wraz z upływem lat zmniejsza się zawartość zanieczyszczeń organicznych utlenianych przez mikroorganizmy oraz silny utleniacz, czyli obniża się średnia roczna wartość BZT₅ i ChZT. Poprawa jakości wody w Strzyży, w Kanale Raduni, Rozwójce i Motławie oraz w Potoku Jelitkowskim jest zauważalna od roku 2003, w Martwej Wiśle nastąpiła ona od roku 2004, w Potoku Oruńskim natomiast najpóźniej, bo dopiero od roku 2005.

Pewne tendencje wystąpiły również, jeżeli chodzi o stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie. W siedmiu badanych ciekach najwyższe stężenie tlenu obserwowano w roku 2005, a najniższe w roku 2000. Wyjątek stanowiła Rozwójka, w którym sytuacja była dokładnie odwrotna, najniższe średnie stężenie tlenu obserwowano w roku 2005, a najwyższe w roku 2000.

Wraz z upływem lat w badanych ciekach sukcesywnie wzrastało średnie roczne stężenie substancji biogenicznych. Wzrost stężenia fosforu całkowitego dotyczył szczególnie dwóch cieków – Motławy i Potoku Siedlickiego. Wyraźnie zwiększoną zawartość azotu całkowitego w wodzie zaobserwowano natomiast we wszystkich ciekach. Najwcześniej wzrost

ten wystąpił w Martwej Wiśle i Rozwójce – od roku 2003, potem miał miejsce w Potoku Jelitkowskim, Kanale Raduni, Strzyży oraz Potoku Oruńskim – od roku 2005, a najpóźniej, od roku 2006, w wodach Potoku Siedlickiego oraz Motławy.

Analiza wartości parametrów fizykochemicznych próbek wody wskazuje, że najwięcej krańcowo rozbieżnych obserwacji dotyczy stężenia zawiesin ogólnych. Można to tłumaczyć tym, że w wodzie może dochodzić do nagłego i znaczącego zwiększenia stężenia materii zawieszonych wskutek gwałtownego zwiększenia przepływu wody w cieku. Przepływ wody zwiększa się w wyniku wystąpienia intensywnego deszczu, w szczególności po dłuższym okresie bezdeszczowym. Znaczny przepływ wody może powodować podrywanie ziarenek piasku oraz innych cząstek (pylastych i ilastych drobin) z dna i brzegu cieku [Attrill, Power 2000; Dassenakis i in. 1997; Jones 2006; Li i in. 2005; Nagano i in. 2003]. Inną przyczyną tak skrajnie różnej zawartości zawiesin ogólnych może być wyjątkowo intensywna produkcja pierwotna w chwili poboru próbki do badań [O'Farrell i in. 2002]. Ponieważ ekstremalne wyniki obserwowano głównie w miesiącach wiosenno-letnich, od maja do września, kiedy znacznie wzrasta tempo procesu fotosyntezy, ostatnie wyjaśnienie wydaje się być bardziej prawdopodobne. Skrajnie rozbieżne wartości stężeń zawiesin ogólnych najczęściej notowano w próbkach pobranych ze Strzyży oraz Potoku Oruńskiego, rzadziej z Potoków Siedlickiego i Jelitkowskiego oraz z Kanału Raduni.

Dość dużą zmienność wyników pomiarów zaobserwowano także w odniesieniu do stężenia jonów chlorkowych oraz przewodnictwa elektrolitycznego wody. Wzrost wartości obu parametrów mógł być spowodowany okresowym dopływem ścieków i zanieczyszczeń albo napływem wody o odmiennym charakterze, pochodzącej z innej rzeki lub wody morskiej [Ahipathy, Puttaiah 2006; Almeida i in. 2007; Bellos, Sawidis 2005; Massoud i in. 2006; Nogyo, Machiwa 2004; Ntengwe 2006; Pekka i in. 2004].

3.2. Relacje między parametrami opisującymi jakość wód

Złożoność zjawisk zachodzących w przyrodzie powoduje, że zwykle nie jeden, ale wiele parametrów ma wpływ na procesy przebiegające w środowisku naturalnym, z których tylko nieliczne można zmierzyć ilościowo w trakcie badań środowiskowych. Do oceny relacji między parametrami wykorzystywanymi jako indykatory procesów fizycznych, chemicznych, biologicznych oraz mikrobiologicznych, zachodzących w toni wodnej [Ahipathy, Puttaiah 2006], stosowana jest analiza korelacji. Sprowadzenie skomplikowanych zależności do postaci liniowej jest dużym uproszczeniem, tym niemniej wnosi pewną informację, która może służyć pomocą w opisie złożoności zachodzących procesów. Może być też pierwszym krokiem na drodze do właściwego oszacowania istniejących zależności i przyczynić się do wyjaśnienia tych relacji.

Korelacja jest miarą siły wzajemnej zależności pomiędzy zmiennymi losowymi. Najczęściej jest ujęta w postaci jednej, syntetycznej wielkości, nazywanej współczynnikiem korela-

cji. Najpopularniejszy jest tzw. współczynnik korelacji r-Pearsona, nazywany również współczynnikiem korelacji liniowej. Wartość współczynnika korelacji określa zarówno siłę związku, jak i charakter zależności (korelację dodatnią lub ujemną). Zestawienie współczynników korelacji dla wszystkich zmiennych tworzy tzw. macierz korelacji [Dobosz 2004].

Do opisu i interpretacji zależności między analizowanymi parametrami zdecydowano się uznać za istotną wartość współczynnika korelacji równą lub większą od 0,30. Chociaż jest to wartość współczynnika charakteryzująca korelację jako przeciętną [Stanisz 2006], w badaniach środowiskowych należy przede wszystkim uwzględnić fakt, że w przyrodzie stosunkowo rzadko występują proste i oczywiste relacje, a często bywają one wręcz niejednorodne i zmienne [Łomnicki 1995]. Jeśli, jak to miało miejsce w prezentowanej pracy, liczba opracowywanych par wyników przekracza 100, za krytyczną wartość współczynnika korelacji z prawdopodobieństwem 0,05 przyjmuje się nawet wartość równą 0,20 [Eckschlager 1974].

Szczegółowa analiza wartości współczynników korelacji między badanymi zmiennymi wykazała istnienie pewnych relacji między parametrami, które charakteryzują właściwości fizykochemiczne wody i które można uznać za warte podkreślenia. Zdecydowanie najsilniejszą zależność zaobserwowano dla pary zmiennych: zawartości jonów chlorkowych i przewodnictwa elektrolitycznego wody, co nie zaskakuje, jeżeli weźmie się pod uwagę, że to właśnie ruchliwe w roztworze jony chlorkowe w znacznej mierze są odpowiedzialne za wielkość przewodnictwa elektrolitycznego wody. W latach 2006 i 2007 współczynnik korelacji między tymi zmiennymi wynosił 0,94, najwyższą wartość miał w roku 2004 (0,99), a najniższą w roku 2005 (0,87). Obydwa parametry były również w istotnym stopniu skorelowane ze stężeniem fosforu całkowitego – korelacja w zakresie od 0,52 do 0,72.

Wysoka korelacja występowała także pomiędzy stężeniem tlenu rozpuszczonego w wodzie a nasyceniem wody tlenem. W roku 2000 korelacja ta osiągnęła największą wartość i wynosiła 0,93, mniejsza okazała się w latach 2004–2007 (od 0,84 do 0,88), a najmniejsza w latach 2001–2003 (od 0,74 do 0,78). Stężenie tlenu rozpuszczonego wydaje się również być w znacznym stopniu uzależnione od temperatury wody, co potwierdzają współczynniki korelacji o wartości od -0,61 w roku 2002 do -0,72 w roku 2006. Jest to zależność odwrotnie proporcjonalna – wraz ze wzrostem temperatury maleje stężenie tlenu rozpuszczonego. Z analizy wartości współczynników korelacji wynika także, że podobna relacja odnosi się w niektórych latach do temperatury oraz zawartości azotu całkowitego w wodzie (korelacja -0,54 w latach 2002 i 2007, brak istotnej korelacji w latach 2000, 2001, 2003 i 2006).

Pewną zależność (również odwrotną) notowano w pojedynczych przypadkach w odniesieniu do stężenia tlenu rozpuszczonego oraz chemicznego i biochemicznego zapotrzebowania na tlen. Najwyższą korelację między ChZT a DO stwierdzono w roku 2001 (-0,68), a pomiędzy BZT₅ i DO w roku 2002 (-0,60). Wyjątkowo małe wartości współczynnika korelacji stwierdzono natomiast w roku 2003: -0,14 dla pary zmiennych BZT₅ i DO oraz 0,06 dla ChZT i DO.

Wzajemne relacje wykryto między poziomem nasycenia wody tlenem oraz chemicznym i biochemicznym zapotrzebowaniem na tlen. Najwyższa korelacja dla par zmiennych OS i ChZT oraz OS i BZT₅ wystąpiła w roku 2002 i w obu wypadkach wynosiła 0,52. Ujemną korelację zaobserwowano także pomiędzy nasyceniem wody tlenem a stężeniem azotu całkowitego. Wprawdzie w latach 2000 oraz 2004 wartość współczynnika korelacji wyniosła jedynie odpowiednio -0,20 oraz -0,19, to w roku 2006 korelacja pomiędzy OS i TN osiągnęła wartość -0,60.

Nasycenie wody tlenem wydaje się być również w pewnej współzależności z odczynem wody. Współczynniki korelacji między obiema zmiennymi mieściły się w przedziale od 0,31 w roku 2007 do 0,57 rok wcześniej (2006).

W każdym roku badań wykryto wysoką korelację między chemicznym i biochemicznym zapotrzebowaniem na tlen, w zakresie od 0,51 do 0,77. Wyjątek stanowił rok 2004, w którym korelacja między tymi parametrami wynosiła jedynie 0,44. Chemiczne i biochemiczne zapotrzebowanie na tlen to dwa charakterystyczne parametry, które w ośmioletnim okresie badawczym w pewnym stopniu korelują z zawartością materii zawieszanej w wodzie, korelacja od 0,30 dla par zmiennych ChZT i TSS w roku 2007 do 0,39 dla zmiennych BZT₅ i TSS w latach 2005 i 2006.

4. PODSUMOWANIE

Z analitycznego punktu widzenia wykonanie wyżej wymienionych analiz nie było zadaniem prostym. Woda powierzchniowa stanowi roztwór substancji nieorganicznych i organicznych, zawiera także koloidy oraz zawiesiny, przy czym substancje znajdujące się w wodzie mogą być pochodzenia naturalnego bądź są wprowadzane do wód w wyniku działalności człowieka. To wszystko powoduje, że w przypadku niektórych parametrów fizykochemicznych próbek wody uzyskano krańcowo rozbieżne dane, a prawie wszystkie oznaczane parametry charakteryzowała dość duża zmienność wyników. Doprowadziły jednak do wielu cennych obserwacji, m.in. do tej, że w większości cieków wraz z upływem lat maleje zawartość zanieczyszczeń organicznych utleniających przez silny utleniacz, a sukcesywnie wzrasta średnie roczne stężenie substancji biogenicznych.

PIŚMIENNICTWO

- AHIPATHY M.V., PUTTAIAH E.T. 2006. Ecological characteristics of Vrishabhavathy River in Bangalore (India). *Environmental Geology* 49: 1217–1222.
- ALMEIDA C.A., QUINTAR S., GONZÁLEZ P., MALLEA M.A. 2007. Influence of urbanization and tourist activities on the water quality of the Potrero de los Funes River (San Luis – Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment* 133: 459–465.
- ATTRILL M.J., POWER M. 2000. Modelling the effect of drought on estuarine water quality. *Water Research* 34: 1594–1594.

- BELLOS D., SAWIDIS T. 2005. Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia – Greece). *Journal of Environmental Management* 76: 282–292.
- DASSENAKIS M., SCOULLOS M., FOUFA E., KRASAKOPOULOU E., PAVLIDOU A., KLOUKINIOTOU M. 1998. Effects of multiple source pollution on a small Mediterranean river. *Applied Geochemistry* 13: 197–211.
- DOBOSZ M. 2004. Problemy współczesnej nauki, teoria i zastosowania; Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- DOJLIDO J. 1987. *Chemia wody*. Arkady, Warszawa.
- ECKSCHLAGER K. 1974. *Błędy w analizie chemicznej*. PWN, Warszawa.
- HERMANOWICZ W. 1984. *Chemia sanitarna*. Arkady, Warszawa.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., KOSIOROWSKI B., ZERBE J. 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- JONES P. D. 2006. Water quality and fisheries in the Mersey estuary. England: A historical perspective. *Marine Pollution Bulletin* 53: 144–154.
- LI F., YUASAA., MURAKI Y., MATSUI Y. 2005. Impacts of a heavy storm of rain upon dissolved and particulate organic C, N and P in the main river of a vegetation-rich basin area in Japan. *The Science of the Total Environment* 345: 99–113.
- ŁOMNICKI A. 1995. *Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników*. PWN, Warszawa.
- MASSOUD M.A., EL-FIDEL M., SCRIMSHAW M.D., LESTER J.N. 2006. Factors influencing development of management strategies for the Abou Ali River in Lebanon II: seasonal and annual variation. *The Science of the Total Environment* 362: 31–41.
- NAGANO T., YANASE N., TSUDUKI K., NAGAO S. 2003. Particulate and dissolved elemental loads in the Kuji River related to discharge rate. *Environment International* 28: 649–658.
- NGOYE E., MACHIWA J.F. 2004. The influence of land-use patterns in the Ruvu River watershed on water quality in the river system. *Physics and Chemistry of the Earth* 29: 1161–1166.
- NTENGWE F.W. 2006. Pollutant loads and water quality in streams of heavily populated and industrialized towns. *Physics and Chemistry of the Earth* 31: 832–839.
- O'FARRELL I., LOMBARDO R.J., DE TEZANOS PINTO P., LOEZ C. 2002. The assessment of water quality in the Lower Luján River (Buenos Aires, Argentina): phytoplankton and algal bioassays. *Environmental Pollution* 120: 207–218.
- PEKKA L., INGRI J., WIDERLUND A., MOKROTOVAROVA O., RIABTSEVA M., ÖHLANDER B. 2004. Geochemistry of the Kola River, northwestern Russia. *Applied Geochemistry* 19: 1975–1995.
- STANISZ A. 2006. *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny, Tom I. Statystyki podstawowe*. StatSoft Polska, Kraków.