

ANNALS
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. LI, 18

SECTIO B

1996

Zakład Geografii Fizycznej UMCS

ANDRZEJ ŚWIECA

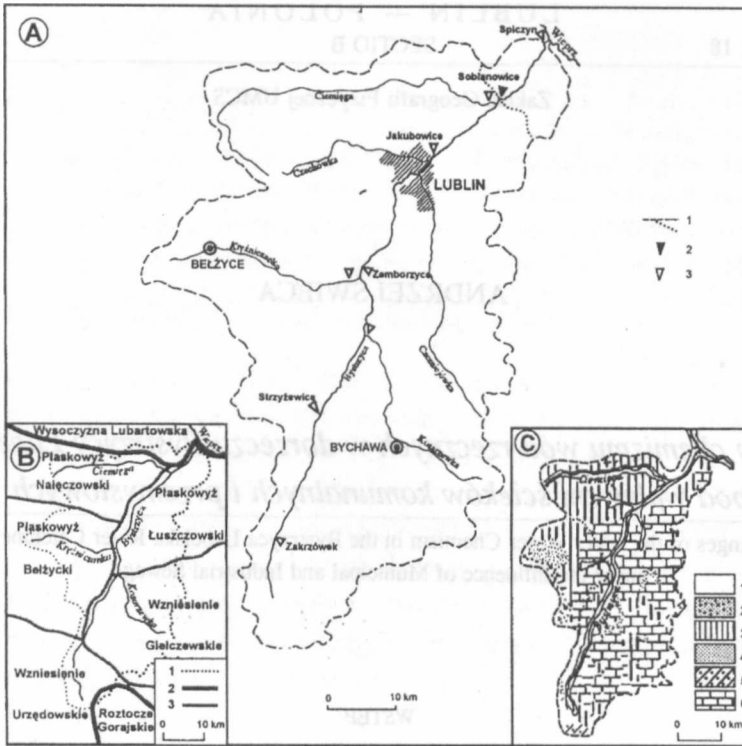
*Zmiany chemizmu wód rzecznych w dorzeczu Bystrzycy Lubelskiej
pod wpływem ścieków komunalnych i przemysłowych*

Changes of the River Water Chemism in the Bystrzyca Lubelska River Catchment
under the Influence of Municipal and Industrial Sewage

WSTĘP

Zlewnia Bystrzycy Lubelskiej zajmuje środkową część dorzecza Wieprza. Według założeń planu przestrzennego zagospodarowania Polski do 1995 roku, górna i środkowa część dorzecza Wieprza wymaga szczególnej ochrony jakości wód (Kozłowski 1991). Z danych zaś wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska wynika, że środkowa część tego dorzecza, a szczególnie zlewnia Bystrzycy wyróżnia się największą kubaturą pobranych wód podziemnych i odprowadzanych ścieków komunalnych i przemysłowych (Świeca 1995). Eksploatacja wód podziemnych na potrzeby największego w Polsce wschodniej ośrodka miejskiego – Lublina doprowadziła do obniżenia ich zwierciadła i powstania dużego leja depresyjnego (Wilgat 1980b; Łoś, Michalczyk 1984, 1989, 1994; Michalczyk, Turczyński 1992; Stochlak 1993). Wody podziemne, użyte do celów komunalnych i przemysłowych, „zrzucające” w postaci ścieków powodują istotne zmiany wielkości odpływu i jakości wód Bystrzycy. Udział roztworów pochodzących ze ścieków w latach osiemdziesiątych był już tak wysoki, że równoważył składową pochodzącą z naturalnej denudacji chemicznej (Maruszczak i in. 1993).

W świetle wyników badań hydrologicznych można wyodrębnić na Bystrzycy odcinki zaburzonej równowagi hydrodynamicznej między wodami powier-



Ryc. 1. Sieć hydrograficzna oraz zróżnicowanie geomorfologiczne i geologiczne dorzecza Bystrzycy; A. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w dorzeczu Bystrzycy: 1 – działki wodne, 2 – punkt wodowskazowy IMiGW, 3 – punkty poboru próbek wód rzecznych; B. Dorzecze Bystrzycy na tle podziału geomorfologicznego według H. Maruszczaka (1972): 1 – działki wodne, 2 – granice regionów geomorfologicznych, 3 – granice subregionów geomorfologicznych; C. Budowa geologiczna dorzecza Bystrzycy według Mapy geologicznej Polski 1 : 500 000: 1 – mady, ily, piaski akumulacji rzecznej (holocen), 2 – gliny morenowe, utwory fluwioglacjalne, limnoglacialne oraz produkty wietrzenia (plejstocen), 3 – lessy (plejstocen), 4 – lessy spiaszczone (plejstocen), 5 – wapień, margle, ily i mulowce, miejscami zlepieńce (miocen), 6 – opoki, opoki margliste, wapień (mastrycht)

Hydrographical network, geomorphological and geologic differentiation of the Bystrzyca river catchment; A. Distribution of measurement points in the Bystrzyca river catchment; 1 – watersheds; 2 – gauging station of the Meteorology and Water Management Institute; 3 – sampling sites of river waters; B. The Bystrzyca river catchment against the background of the geomorphological division after H. Maruszczak (1972); 1 – watershed; 2 – boundaries of geomorphic regions; 3 – boundaries of geomorphological subregions; C. Geologic structure of the Bystrzyca river catchment according to the Geological Map of Poland 1 : 500 000; 1 – alluvial soils, clays, sands of fluvial accumulation (Holocene); 2 – tills, glaciofluvial and glaciolacustrine deposits, and their residua (Pleistocene); 3 – loesses (Pleistocene); 4 – sandy loesses (Pleistocene); 5 – limestones, marls, clays and mudstones, in places conglomerates (Miocene); 6 – opokas, marly opokas, limestones (Maestrichtian)

chniowymi i podziemnymi, podkreślone „ucieczką” wód powierzchniowych do warstwy wodonośnej. Zjawisko to występuje tylko podczas niskich i średnich stanów wody w Bystrzycy powyżej Zakrzówka (Michalczyk, Rederowa 1990), a systematycznie w rejonie lubelskiego leja depresyjnego (Łoś, Michalczyk 1984, 1989, 1994; Michalczyk, Turczyński 1992). Ze względu na postępującą degradację (antropogenizację) wód powierzchniowych są to rejony istotnego zagrożenia dla wód podziemnych.

ZAKRES I METODA BADAŃ

Podstawę opracowania stanowiły wyniki analiz próbek wód rzecznych, pobieranych raz na miesiąc w latach 1981–1992, w punktach pomiarowych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie. Uwzględniono mineralizację całkowitą (w formie suchej pozostałości), stężenia tlenu rozpuszczonego (O_2) oraz jonów: chlorkowego (Cl^-), azotu amonowego ($N-NH_4^+$) i fosforanowego (PO_4^{3-}), a także obciążenia substancją organiczną (BZT_5). Z Inspektoratu pochodzą także dane dotyczące kubatury ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych w latach 1989–1992. Dla tego okresu określono parametry chemizmu wód rzecznych, a dla uchwycenia dynamiki zmian odniesiono je do średnich z dziesięciolecia 1981–1990.

Ocenę chemizmu i stopnia zanieczyszczenia wód rzecznych wykonano na podstawie wyników analiz z ośmiu punktów pomiarowych (ryc. 1A), w tym pięciu na Bystrzycy (Zakrzówek, Strzyżewice, Zemborzyce, Jakubowice i Spiczyn) oraz z trzech – w odcinkach ujściowych jej dopływów: Kosarzewki, Krężniczanki i Ciemięgi. W latach 1989–1992 pobrano tam 367 próbek wody, a w dziesięcioleciu (1981–1990) – 744; zbiór obejmował łącznie odpowiednio 2153 i 4033 danych analiz chemicznych. Zbiór danych jest więc dostatecznie reprezentatywny dla analizy zróżnicowania stosunków hydrochemicznych. Wyniki analiz opracowano statystycznie oddzielnie dla lat 1989–1992 i dziesięciolecia 1981–1990. Dane te były podstawą próby kompleksowej oceny stanu zanieczyszczenia wód, przy wykorzystaniu współczynnika zanieczyszczenia W_z obliczonego według zasad zaprezentowanych we wcześniejszych opracowaniach (Świeca 1996 a, b). Wskaźniki W_z określone na podstawie średnich rocznych pozwoliły zróżnicować analizowane wody w pięciostopniowej skali zanieczyszczenia (ryc. 2A). Uwzględniono także kryterium wskaźników tlenowych i biogenicznych, odnoszonych do wielkości normatywnych (określonych przez roz-

porządzenie Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 XI 1991 r.).

CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA DORZECZA BYSTRZYCY

Bystrzyca jest największym lewobrzeżnym dopływem Wieprza; długość jej wynosi 70,3 km, a powierzchnia dorzecza 1315,5 km² (Atlas hydrograficzny Polski, 1986). Przyjmuje ona cztery większe dopływy (o długości powyżej 20 km): po prawej stronie – na 42,8 km biegu Kosarzewkę i na 22,4 km Czerniejówkę, a po lewej – na 36,0 km Krężniczanekę i na 10,2 km Ciemięgę. W dolnym biegu rzeki (na 9,8 km) zainstalowany jest wodowskaz IMiGW; zlewnia powyżej tego wodowskazu obejmuje 1265 km², co stanowi 96,2% powierzchni dorzecza Bystrzycy.

Dorzecze Bystrzycy w dominującej części położone jest na Wyżynie Lubelskiej. Według podziału geomorfologicznego H. Maruszczaka (1972) obejmuje części wzniesień: Gielczewskiego i Urzędowskiego oraz płaskowyżów: Łuszczowskiego, Bełżyckiego i Nałęczowskiego (ryc. 1B). W podłożu występują lekko pofałdowane oraz zaburzone tektonicznie skały górnokredowe o miąższości 650 m w części północnej, 1100 m w centralnej (okolice Bychawy), 600–800 m w południowej (Żelichowski 1972; Krassowska 1977). Przypowie-rzchniowe warstwy skał górnokredowych na przeważającym obszarze dorzecza reprezentują mastrycht górny i dolny (o maksymalnej miąższości do 350 m w północnej części), a tylko na krańcach południowych – kampan. W profilu pionowym warstw mastrychtu górnego zaznaczają się wyraźne różnice w proporcjach między podstawowymi typami skał (kreda – margiel – wapień – opoka), co było podstawą wydzielenia trzech kompleksów litostratygraficznych (Wyrwicka 1977). Na analizowanym obszarze dominuje kompleks opok (opoki z wkładkami margli i wapieni). Występujące w skałach górnokredowych struktury fałdowe pocięte są dyslokacjami podłużnymi (o kierunku NW–SE) oraz poprzecznymi, powstałymi w megacyklu alpejskim i nawiązującymi do przebiegu starych struktur podłoża paleozoicznego (Żelichowski 1972; Harasimiuk 1980). Dyslokacje tektoniczne mają istotne znaczenie dla stosunków hydrogeologicznych (Harasimiuk i in. 1980; Krajewski 1984); niektóre z dyslokacji poprzecznych warunkują przebieg doliny Bystrzycy (Harasimiuk, Henkiel 1982).

Skały górnokredowe w znacznej części dorzecza Bystrzycy odsłaniają się na powierzchni; w niektórych zlewniach cząstkowych występują pod skałami

trzeciorzędowymi lub utworami czwartorzędowymi (ryc. 1C). Trzeciorzęd o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów reprezentowany jest przez: paleoceńskie gezy i opoki z przewarstwieniami twardych wapieni marglistych typu „siwaka”; górnooceński kompleks osadów piaszczysto-ilasto-mułkowych z glaukonitem i fosforytami w spągu; dolnooligoceniński kompleks piasków, piasków gliniastych i gliny piaszczystej z glaukonitem, zawierający drobne żwirki kwarców, litytów i krzemieni (tzw. fasolka oligocenińska); osady dolnego sarmatu rozwinięte w facji piaszczystej, ze zlepami muszlowymi i piaskowcami w stropie (Harasimiuk 1983; Henkiel 1983; Wyrwicka 1983; Marszałek i in. 1992). Na analizowanym obszarze warstwy kompleksu trzeciorzędowego tworzą rozleglejsze pokrywy na Płaskowyżu Nałęczowskim (w zlewni Ciemięgi) i Wzniesieniach Urzędowskich; w postaci izolowanych płatów występują na Wywniosłości Giełczewskiej (na międzyrzeczu Bystrzycy, Czerniejówki i Giełczwi).

Utwory czwartorzędowe w obszarach międzydolinnych tworzą ciągłą pokrywę jedynie w obrębie Płaskowyżu Nałęczowskiego i Bełżyckiego (o maksymalnej miąższości 20–30 m). W pozostałych mezoregionach występują w mniejszych płatach o zróżnicowanym składzie. Główne ogniwa czwartorzędu to: preglacjalne utwory eluwalno-deluwalne (mułki, piaski lub gliny) zalegające bezpośrednio na podłożu kredowym lub trzeciorzędowym; gliny zwałowe z rozdzielającymi je piaskami; less lub odpowiadające im piaski stokowe; pylaste lub piaszczyste deluwia wyścielające dna holoceniskich rozcięć erozyjnych i tworzące stożki u stóp krawędzi i stoków (Harasimiuk, Henkiel 1982; Henkiel 1983). W dolinie Bystrzycy utwory czwartorzędowe reprezentowane są przez plejstocenijskie osady żwirowo-piaszczyste i mułki oraz holocenijskie deluwia piaszczyste i pylaste, a także osady mineralno-organiczne. Miąższość czwartorzędu w górnej części doliny Bystrzycy, w Zakrzówku, przekracza 20 m, a w dolnej – w kopalnej rynnicy erozyjnej Łuszczowa dochodzi do 87 m (Harasimiuk, Henkiel 1982).

Wody podziemne występują w skałach górnokredowych, trzeciorzędowych i utworach czwartorzędowych. Wody czwartorzędowe i trzeciorzędowe mają znaczenie podrzędne; główny poziom wodonośny związany jest ze skałami górnokredowymi (Wilgat 1959; Krajewski 1984; Michalczyk 1986, 1993). Zróżnicowanie litologiczne i szczelinowatość skał górnokredowych decydują o warunkach występowania i krążenia wód w zbiorniku kredowym; wody te mają charakter szczelinowo-warstwowy (Wilgat 1959, 1970; Michalczyk 1986). Uszczelinienie kredy zmniejsza się z głębokością i silniejsze jej zawodnienie nie sięga głębiej niż do 100–150 m (Wilgat 1980 a). Wody podziemne pozostają w więzi hydraulicznej z powierzchniowymi. Duża zdolność retencyjna podłoża decyduje

o znacznym udziale zasilania podziemnego w odpływie rzeczny; w Bystrzycy, w profilu Sobianowice w latach 1953–1973 wynosił on średnio 72,9% (Wilgat 1980 a), a w trzydziestoleciu 1951–1980 nawet 78,1% (Michalczyk 1986).

Analizę chemizmu i zanieczyszczenia wód rzecznych wykonano przy znacznie niższych od przeciętnych przepływach. W Sobianowicach średni roczny przepływ w latach 1989–1992 wynosił $3,31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i był niższy niż w czterdziestoleciu 1951–1990 o 34,1%. W okresie 1981–1990 średni roczny przepływ ($4,61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) był również niższy w stosunku do przeciętnego, ale przy znacznie mniejszej różnicy – tylko o 8,2% (Michalczyk, Turczyński 1992). Prezentowane wyniki badań chemizmu wód rzecznych odnoszą się więc do okresu niskich stanów wód.

ZRÓŻNICOWANIE CHEMIZMU WÓD RZECZNYCH

W latach 1989–1992 do wód powierzchniowych w zlewni Bystrzycy powyżej wodowskazu w Sobianowicach odprowadzano średnio rocznie około 42,5 mln m^3 ścieków komunalnych i przemysłowych, pochodzących w przeważającej części z Lublina (352,5 tys. mieszkańców w 1991 r.); stanowiło to aż 41% średniego rocznego odpływu rzeczno (Świeca 1995). Względnie mało ścieków przyjmowały wody Ciemięgi (0,07% średniej rocznej kubatury), Kosarzewki (1,2%) i Krężniczanki (1,6%). Aż około 97% ścieków odprowadzanych było do Bystrzycy, w tym około 93% pochodziło z Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie.

Wskaźniki mineralizacji całkowitej i stężenia jonu chlorkowego (tab. 1) oraz wybrane wskaźniki tlenowe i biogeniczne wód rzecznych (tab. 2, tab. 3) pozwalają określić nie tylko zróżnicowanie badanej zlewni w zależności od budowy geologicznej, ale także zmiany spowodowane działalnością gospodarczą. Próba kompleksowej oceny stanu zanieczyszczenia wód, przy wykorzystaniu współczynnika zanieczyszczenia W_z na podstawie średnich rocznych, pozwoliła zróżnicować analizowane wody w pięciostopniowej skali zanieczyszczenia (ryc. 2, tab. 1). Według tej skali wody Bystrzycy w Zakrzówku i Strzyżewicach były „czyste”, w Zemborzycach (poniżej ujścia Kosarzewki i Krężniczanki) – „wyraźnie zanieczyszczone”, natomiast w Jakubowicach i Spiczynie (poniżej Lublina) – „krytycznie zanieczyszczone” (ryc. 2A). Ciemięgę scharakteryzowano jako „czystą”, a Kosarzewkę (odbiornik ścieków z Bychawy – 5100 miesz-

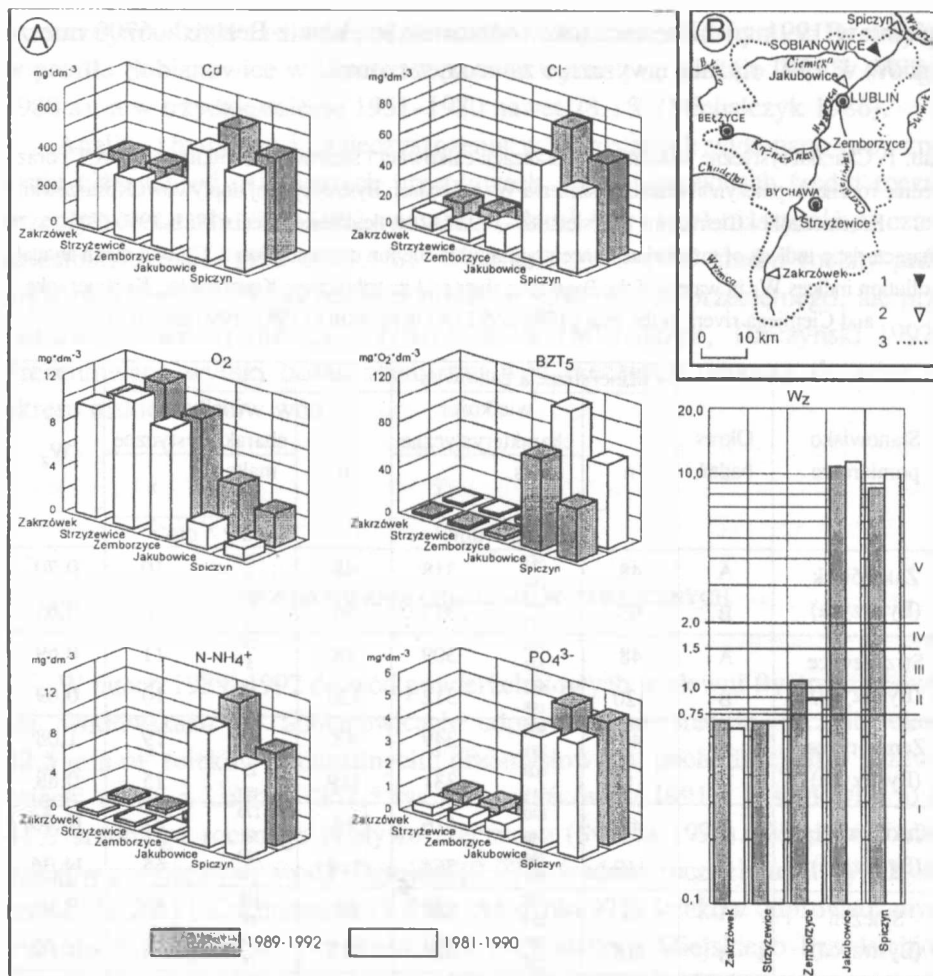
kańców w 1991 r.) i Krężniczanke (odbiornik ścieków z Bełżyc – 6700 mieszkańców w 1991 r.) jako „wyraźnie zanieczyszczoną”.

Tab. 1. Charakterystyczne wskaźniki mineralizacji całkowitej i stężenia jonu chlorkowego (Cl^-) oraz średnie roczne współczynniki zanieczyszczenia W_z w wodach Bystrzycy i jej dopływów: Kosarzewki, Krężniczanki i Ciemięgi w okresie 1989–1992 (A) na tle dziesięciolecia 1981–1990 (B)
Characteristic indices of total solute concentration, chloride ion concentration (Cl^-), and mean annual pollution indices W_z in waters of the Bystrzyca river and its tributaries: Kosarzewka, Krężniczanka and Ciemięga rivers in the years 1989–1992 (A) in relation to 1981–1990 decade (B)

Stanowisko pomiarowe	Okres badań	Mineralizacja całkowita			Cl^-			W_z
		n	wielkości charakterystyczne		n	wielkości charakterystyczne		
			maks.	\bar{x}		maks.	x	
			min. $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$			min. $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$		
Zakrzówek (Bystrzyca)	A	48	387 265	318	48	15 5	10	0,70
	B	96	422 127	315	96	17 5	10	0,65
Strzyżewice (Bystrzyca)	A	48	406 228	309	48	18 5	11	0,69
	B	120	442 188	312	120	19 2	10	0,69
Zemborzyce (Bystrzyca)	A	48	409 281	349	48	31 13	19	1,08
	B	119	409 211	331	119	25 9	15	0,88
Jakubowice (Bystrzyca)	A	48	840 440	616	48	170 40	81	10,79
	B	119	844 311	564	119	260 15	65	11,36
Spiczyn (Bystrzyca)	A	61	720 235	525	61	198 18	65	8,59
	B	118	720 235	499	118	136 16	53	10,02
(Kosarzewka)	A	48	459 285	349	48	27 13	16	1,42
	B	65	421 197	330	65	26 9	13	1,24
(Krężniczanka)	A	27	561 288	404	27	32 23	28	1,30
	B	53	561 228	342	53	29 7	21	1,28
(Ciemięga)	A	27	474 307	376	27	25 11	15	0,69
	B	53	546 232	370	53	48 9	14	0,68

n – liczba danych (amount of data); \bar{x} – średnia arytmetyczna (arithmetic mean)

Dla wód rzecznych określonych jako „czyste” w latach 1989–1992 charakterystyczne było dobre natlenienie ($9,4\text{--}11,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), małe obciążenie związkami organicznymi (BZT₅ $2,5\text{--}3,2 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz niewielkie stężenie:



Ryc. 2. Średnie wielkości wybranych cech chemizmu i współczynnika zanieczyszczenia wód rzecznych w stanowiskach pomiarowych na Bystrzycy (A) oraz rozmieszczenie tych stanowisk (B); A: Cd – mineralizacja całkowita; Cl⁻ – jon chlorkowy; O₂ – tlen rozpuszczony; BZT₅ – pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu; N-NH₄⁺ – jon amonowy; PO₄³⁻ – jon fosforanowy;

W_z – współczynnik zanieczyszczenia: I–V – stopnie zanieczyszczenia według współczynnika zanieczyszczenia W_z < 0,75 (I) czyste, 0,76–1,00 (II) „nieznacznie zanieczyszczone”, 1,01–1,50 (III) „wyraźnie zanieczyszczone”, 1,51–2,00 (IV) „silnie zanieczyszczone”, W_z > 2,0 (V) „krytycznie zanieczyszczone” (wielkości z okresu 1989–1992 na tle dziesięciolecia 1981–1990 zestawione na podstawie danych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie); B: 1 – punkt wodowskazowy IMiGW; 2 – miejsca poboru próbek wody; 3 – dział wodny

PO_4^{3-} (0,29–0,38 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), N-NH_4^+ (0,36–0,53 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i Cl^- (10–15 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Według tych wskaźników najczęściej notowano je w I i II klasie czystości wód (tab. 2, 3). Średnie roczne wskaźniki mineralizacji całkowitej notowano w zakresie 309–376 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 1).

W wodach „wyraźnie zanieczyszczonych” zanotowano następujące średnie roczne stężenia ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$): tlenu rozpuszczonego 9,5–10,0, BZT_5 3,6–4,6, PO_4^{3-} 0,71–0,96, N-NH_4^+ 0,58–1,30 i Cl^- 16–28. Według wskaźników tlenowych i azotu amonowego najczęściej notowano je w I i II klasie czystości, a według fosforanów – w III klasie (tab. 2, 3). Średnia roczna mineralizacja wynosiła od 349 do 404 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 1).

Wody „krytycznie zanieczyszczone” charakteryzowały się znacznie gorszym natlenieniem (3,0–4,6 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), większym obciążeniem związkami organicznymi (BZT_5 47,0–81,6 $\text{mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), wielokrotnie wyższymi stężeniami N-NH_4^+ (9,5–13,5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i PO_4^{3-} (5,4–5,6 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Najczęściej notowane wskaźniki tlenowe i biogeniczne nie odpowiadały normom (tab. 2, 3). Średnie roczne wskaźniki mineralizacji całkowitej wynosiły 525–616, a stężenia chlorków 65–81 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 1).

TRANSFORMACJA CHEMIZMU WÓD RZECZNYCH Z BIEGIEM BYSTRZYCY

Wyniki badań w pięciu punktach pomiarowych pozwoliły ocenić zmiany chemizmu wód Bystrzycy i stopnia zanieczyszczenia na odcinku od przekroju Zakrzówek (65,5 km biegu) po Spiczyn (0,6 km), na długości 64,9 km (92,3% długości rzeki).

Mean values of the selected chemical features and of the pollution index in river waters at the measurement points on the Bystrzyca river (A) and distribution of these points (B); A: Cd – total solute concentration; Cl^- – chloride ion; O_2 – dissolved oxygen; BZT_5 – five-day biochemical oxygen demand; N-NH_4^+ – ammonium nitrogen; PO_4^{3-} – phosphate ion; W_z – pollution index I–V – pollution degrees according to the pollution index $W_z < 0.75$ (I) clean, 0.76–1.00 (II) slightly polluted, 1.01–1.50 (III) considerably polluted, 1.51–2.00 (IV) heavily polluted, $W_z > 2.0$ (V) extremely polluted (values of the years 1989–1992 in relation to 1981–1990 decade compiled on the basis of data from the Provincial Inspectorate of Environment Protection in Lublin); B: 1 – Gauging station of the Meteorology and Water Management Institute; 2 – water sampling sites; 3 – watershed

Tab. 2a. Stan czystości wód Bystrzycy w odniesieniu do wybranych wskaźników tlenowych i biogenicznych w okresie 1989–1992 (A) na tle dziesięciolecia 1981–1990 (B)
Quality of the Bystrzyca river water on the basis of the selected oxygen and biogenic indices in the years 1989–1992 (A) in relation to 1981–1990 decade (B)

Stanowisko pomiarowe	Okres badań	Tlen rozpuszczony * (O_2)							Pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu ** (BZT_5)						
		n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości				n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości			
			maks. min.	\bar{x}	I	II	III	pzk		maks. min.	\bar{x}	I	II	III	pzk
			$mg \cdot dm^{-3}$		%					$mg \cdot dm^{-3}$		%			
Zakrzówek	A	48	12,4 7,4	9,4	100	—	—	—	48	6,5 1,0	2,5	93,7	6,3	—	—
	B	96	12,4 6,8	9,6	100	—	—	—	96	12,0 0,6	1,9	96,9	2,1	1,0	—
Strzyżewice	A	48	15,0 7,0	11,6	100	—	—	—	48	6,7 1,0	2,7	91,7	8,3	—	—
	B	120	15,0 8,2	11,2	100	—	—	—	120	5,4 1,0	2,5	94,2	5,8	—	—
Zemborzyce	A	48	14,0 3,6	9,5	93,7	—	2,1	4,2	48	9,8 1,8	3,6	79,2	18,7	2,1	—
	B	119	14,0 3,6	9,6	96,6	—	1,7	1,7	119	9,8 1,2	3,2	79,8	19,3	0,9	—
Jakubowice	A	48	10,6 0,0	4,6	37,5	10,4	14,6	37,5	48	312,0 6,8	81,6	—	6,2	12,5	81,3
	B	119	8,8 0,0	2,1	10,9	3,4	6,7	79,0	118	275,0 11,0	111,7	—	—	—	100
Spiczyn	A	73	10,8 0,0	3,0	46,6	2,7	2,7	48,0	73	104,0 4,7	47,0	—	30,2	12,3	57,5
	B	119	7,8 0,0	1,0	1,7	1,7	0,8	95,8	119	190,0 8,8	74,2	—	0,8	—	99,2
Stanowisko pomiarowe	okres badań	Azot amonowy *** ($N-NH_4^+$)							Fosforany **** (PO_4^{3-})						
		n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości				n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości			
			maks. min.	\bar{x}	I	II	III	pzk		maks. min.	\bar{x}	I	II	III	pzk
			$mg \cdot dm^{-3}$		%					$mg \cdot dm^{-3}$		%			
Zakrzówek	A	48	0,8 0,0	0,36	100	—	—	—	48	1,16 0,17	0,38	6,2	89,6	2,1	2,1
	B	94	1,36 0,0	0,35	98,9	1,1	—	—	43	1,16 0,12	0,36	7,0	90,7	—	2,3
Strzyżewice	A	48	1,02 0,02	0,43	97,9	2,1	—	—	48	0,76 0,11	0,37	8,3	85,4	6,3	—
	B	120	1,62 0,0	0,34	97,5	2,5	—	—	43	0,76 0,11	0,40	16,3	74,4	9,3	—
Zemborzyce	A	48	1,22 0,16	0,65	91,7	8,3	—	—	48	1,60 0,29	0,71	—	35,4	52,1	12,5
	B	119	1,05 0,0	0,44	96,7	3,4	—	—	55	1,96 0,01	0,54	9,1	25,5	50,9	14,5
Jakubowice	A	48	35,0 0,9	13,5	10,5	10,6	6,0	72,9	48	26,4 0,16	5,6	2,1	8,3	—	89,6
	B	120	35,0 0,64	11,8	1,6	1,6	17,3	79,5	43	26,4 0,34	4,84	—	11,3	7,0	81,4
Spiczyn	A	61	36,0 0,47	9,5	21,4	16,3	8,1	54,2	61	21,0 0,80	5,4	—	—	3,2	96,8
	B	119	36,0 0,51	9,1	1,7	11,9	21,8	64,6	43	21,0 0,59	5,05	—	2,4	7,0	90,6

n – liczba danych (amount of data); \bar{x} – średnia arytmetyczna (arithmetic mean); pzk – poza klasyfikacją (water beyond standard)

Tab. 2b. Normy klasyfikacji wód (na podstawie rozporządzenia Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 XI 1991 r.)

Classification standards of waters (on the basis of The Decree of the Minister of Environment Protection, Natural Resources and Forestry of 5 Nov. 1991)

*	**	***	****
I. 6,0 mg*dm ⁻³ i powyżej	I. 4,0 mg O ₂ *dm ⁻³ i poniżej	I. 1,0 mg*dm ⁻³ i poniżej	I. 0,2 mg*dm ⁻³ i poniżej
II. 5,0-5,9	II. 4,1-8,0	II. 1,1-3,0	II. 0,21-0,60
III. 4,0-4,9	III. 8,1-12,0	III. 3,1-6,0	III. 0,61-1,00
pzk poniżej 4,0	pzk powyżej 12,0	pzk powyżej 6,0	pzk powyżej 1,00

Tab. 3. Stan czystości wód odcinków ujściowych dopływów Bystrzycy w odniesieniu do wybranych wskaźników tlenowych i biogenicznych w okresie 1989-1992 (A) na tle dziesięciolecia 1981-1990 (B)

Water quality in the mouth sections of the Bystrzyca river tributaries on the basis of the selected oxygen and biogenic indices in the years 1989-1992 (A) in relation to 1981-1990 decade (B)

Rzeka	Okres badań	Tlen rozpuszczony* (O ₂)						Pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu** (BZT ₅)							
		n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości				n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości			
			maks.	\bar{x}	I	II	III	pzk		maks.	\bar{x}	I	II	III	pzk
			min	mg * dm ⁻³	%					min	mg * dm ⁻³	%			
Kosarzewka	A	48	14,6 5,4	9,8	97,9	2,1	—	—	48	8,2 2,0	4,2	47,9	50,0	2,1	—
	B	65	14,0 5,0	9,6	95,4	4,6	—	—	65	8,2 1,2	3,6	63,1	35,4	1,5	—
Krężniczanka	A	27	13,4 7,0	10,0	100	—	—	—	27	6,8 2,3	4,6	66,7	29,6	—	3,7
	B	530	13,4 7,0	10,1	100	—	—	—	53	6,6 1,2	3,6	69,8	28,3	—	1,9
Ciemiega	A	28	15,0 8,4	11,1	100	—	—	—	27	5,0 1,4	3,2	81,5	18,5	—	—
	B	53	13,8 8,4	11,0	100	—	—	—	53	5,6 1,0	2,4	88,7	11,3	—	—
Rzeka	okres badań	Azot amonowy*** (N-NH ₄ ⁺)						Fosforany**** (PO ₄ ³⁻)							
		n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości				n	wielkości charakterystyczne		klasy czystości			
			maks.	\bar{x}	I	II	III	pzk		maks.	\bar{x}	I	II	III	pzk
			min	mg * dm ⁻³	%					min	mg * dm ⁻³	%			
Kosarzewka	A	48	3,74 0,24	1,30	39,6	58,3	2,1	—	48	2,01 0,30	0,96	—	12,6	47,9	39,5
	B	65	3,74 0,0	0,66	72,4	26,1	1,5	—	39	2,13 0,10	0,91	2,6	28,3	35,8	33,4
Krężniczanka	A	27	1,46 0,45	0,58	70,4	29,6	—	—	26	1,60 0,47	0,91	—	7,6	50,0	42,4
	B	53	0,01 1,88	0,46	81,1	18,9	—	—	24	1,60 0,12	0,99	4,2	25,1	16,7	54,0
Ciemiega	A	27	0,95 0,03	0,53	100	—	—	—	27	1,40 0,15	0,29	11,1	77,7	7,5	—
	B	53	1,78 0,0	0,34	96,2	3,8	—	—	27	1,40 0,06	0,36	22,2	70,3	3,8	—

Objaśnienia jak w tab. 2 (explanations as for Table 2)

Wody górnej Bystrzycy w przekrojach Zakrzówek i Strzyżewice nie były zanieczyszczone ściekami komunalnymi i przemysłowymi. W tej części zlewni były one przede wszystkim pod wpływem zanieczyszczeń obszarowych, spowodowanych głównie chemizacją rolnictwa. Można więc przyjąć, że wskaźniki ich chemizmu są reprezentatywne dla dzisiejszego tła hydrochemicznego. W świetle wyników analiz z lat 1989–1992 wody tak określonego tła charakteryzowały się średnią mineralizacją $314 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i stężeniem jonu chlorkowego $10,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Analiza najniższych wielkości rozpuszczonego tlenu (tab. 2) wskazuje, że nie przechodziły one momentów krytycznych w zakresie natlenienia. Świadczy to o ich niewielkim obciążeniu substancjami organicznymi i o stosunkowo dobrej reakeracji. Średnia zawartość tlenu w wodach tła hydrochemicznego wynosiła około $10,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a wskaźnik BZT_5 – $2,6 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Zarówno stężenie tlenu, jak i wskaźnik BZT_5 najczęściej notowano w przedziałach właściwych dla I klasy czystości wód (tab. 2). Względnie niskie było również stężenie fosforanów ($0,38 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i azotu amonowego ($0,40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Wskaźnik kompleksowego zanieczyszczenia W_z wynosił 0,70, co kwalifikowało je jako „czyste”.

Na odcinku od Strzyżewic do Zemborzyc znaczny wpływ na chemizm wód Bystrzycy mają dwa dopływy Kosarzewka i Krężniczanka (w świetle wskaźnika W_z – „wyraźnie zanieczyszczone”), które są obciążone ładunkiem ścieków z Bychawy i Bełżyc. W latach 1989–1992 w Zemborzycach średnia roczna mineralizacja wód Bystrzycy wynosiła $349 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a stężenie chlorków $19 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W stosunku do wielkości określonych dla tła wody te wykazały względnie niewielkie oznaki degradacji (tab. 1, 2); mineralizacja całkowita była wyższa o 11%, a stężenie jonu chlorkowego o 81%. Charakteryzowały się gorszymi warunkami tlenowymi: stężenie tlenu było niższe o 9,5%, a wskaźnik BZT_5 wyższy o 38,5%. Znacznie bardziej były obciążone składnikami biogenicznymi; stężenie jonów azotu amonowego było wyższe niż dla tła o 62%, a fosforanowego o 87%. W świetle analizowanych parametrów i określonego na ich podstawie współczynnika W_z (1,08) można stwierdzić, że w latach 1989–1992 wody Bystrzycy w Zemborzycach powyżej Lublina były „wyraźnie zanieczyszczone” (ryc. 2).

Znacznie większe oznaki degradacji wykazały wody Bystrzycy poniżej ujścia ścieków z Lublina. Współczynnik kompleksowego zanieczyszczenia wód W_z , określony na podstawie danych z lat 1989–1992, w Jakubowicach (10,79) i w Spiczynie (8,59) charakteryzuje te wody jako „krytycznie zanieczyszczone” (ryc. 2). Wskaźniki mineralizacji całkowitej, stężenia jonu chlorkowego (tab. 1) oraz tlenowe i biogeniczne (tab. 2) świadczą o wyraźnej odrębności wód pozostających

stających pod wpływem ścieków z dużego miasta. W przekroju ujściowym do Wieprza, w Spiczynie, wody Bystrzycy wykazały współczynnik zanieczyszczenia W_z wyższy 12-krotnie w stosunku do tła hydrochemicznego, mineralizację ogólną wyższą około 67%, 3,5-krotnie mniejsze stężenie tlenu, 6,5-krotnie wyższe stężenie chlorków, 14-krotnie większe stężenie fosforanów, 18-krotnie większe stężenie związków organicznych i aż 24-krotnie wyższe stężenie azotu amonowego.

DYNAMIKA ZMIAN CHEMIZMU WÓD RZECZNYCH

Dane z lat 1989–1992 w porównaniu z danymi dziesięciolecia 1981–1990 świadczą o zmianach, które następowały w czasie (ryc. 2, tab. 1–3).

W świetle kompleksowego współczynnika zanieczyszczenia W_z następowało pogorszenie stanu czystości wód rzecznych w dorzeczu Bystrzycy w analizowanym okresie (tab. 1). W stosunku do okresu 1981–1990 współczynniki z lat 1989–1992 były niewiele wyższe (do 2%) w Ciemiędzy i Krężniczance, nieco wyższe (około 10 do 15%) w górnej Bystrzycy w Zakrzówku i jej dopływie – Kosarzewce; znacznie wyższe (około 25%) w środkowym biegu Bystrzycy w Zemborzycach. Bez zmian były współczynniki w obu analizowanych okresach w wodach Bystrzycy w Strzyżewicach. W dwóch pozostałych stanowiskach na Bystrzycy, położonych poniżej Lublina, stan czystości poprawił się; w Jakubowicach współczynnik W_z był niższy około 5%, a w Spiczynie – około 15%.

W wodach dopływów Bystrzycy o pogorszeniu stanu czystości zdecydowały przede wszystkim: azot amonowy (szczególnie w Kosarzewce i Ciemiędzy), fosforany (w Kosarzewce) oraz chlorki (w Krężniczance i Kosarzewce). Składniki biogeniczne i chlorki wywarły również największy negatywny wpływ na stan czystości wód środkowego biegu Bystrzycy w Zemborzycach, natomiast w górnym biegu – w Zakrzówku i Strzyżewicach – obciążenie związkami organicznymi.

Poprawę stanu czystości poniżej Lublina należy wiązać z oddaniem do użytku oczyszczalni ścieków w Hajdowie. W świetle analizy średnich rocznych wskaźników, w latach 1989–1992 największe pozytywne zmiany zanotowano w obciążeniu związkami organicznymi i w stężeniu tlenu rozpuszczonego; wskaźnik BZT_5 – niższy o 37% w Spiczynie i 27% w Jakubowicach, a stężenie tlenu – odpowiednio 3 i 2-krotnie wyższe. Najmniej zależne od charakteru i stopnia oczyszczania ścieków były wskaźniki mineralizacji całkowitej, stężenia jonów:

azotu amonowego, fosforanowego i chlorkowego. W omawianym czterolecu zarówno w Spiczynie, jak i w Jakubowicach wskaźniki były wyższe w stosunku do dziesięcioletnich odpowiednio: mineralizacji całkowitej – o 5 i 9%, azotu amonowego – o 4,5 i 14,5%, fosforanów – o 7 i 16% oraz chlorków – o 23 i 25%.

Dla oceny zmian chemizmu i zanieczyszczenia wód rzecznych w dłuższej perspektywie czasu wykorzystano starsze publikacje, w których określono wybrane składniki chemiczne wód Bystrzycy w Spiczynie (Stangenberg 1951; Czyż i in. 1963). Opracowania te wykonywane były na podstawie niewielkiej liczby pomiarów: M. Stangenberg (1951) – jednokrotne badania w lipcu 1941 roku, K. Czyż i in. (1963) – czterokrotnie powtarzane badania w 1959 roku. Wybrane cechy (określone dla 1941 r. i 1959 r.) porównano ze średnimi rocznymi z 1991 roku, według danych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie (tab. 4).

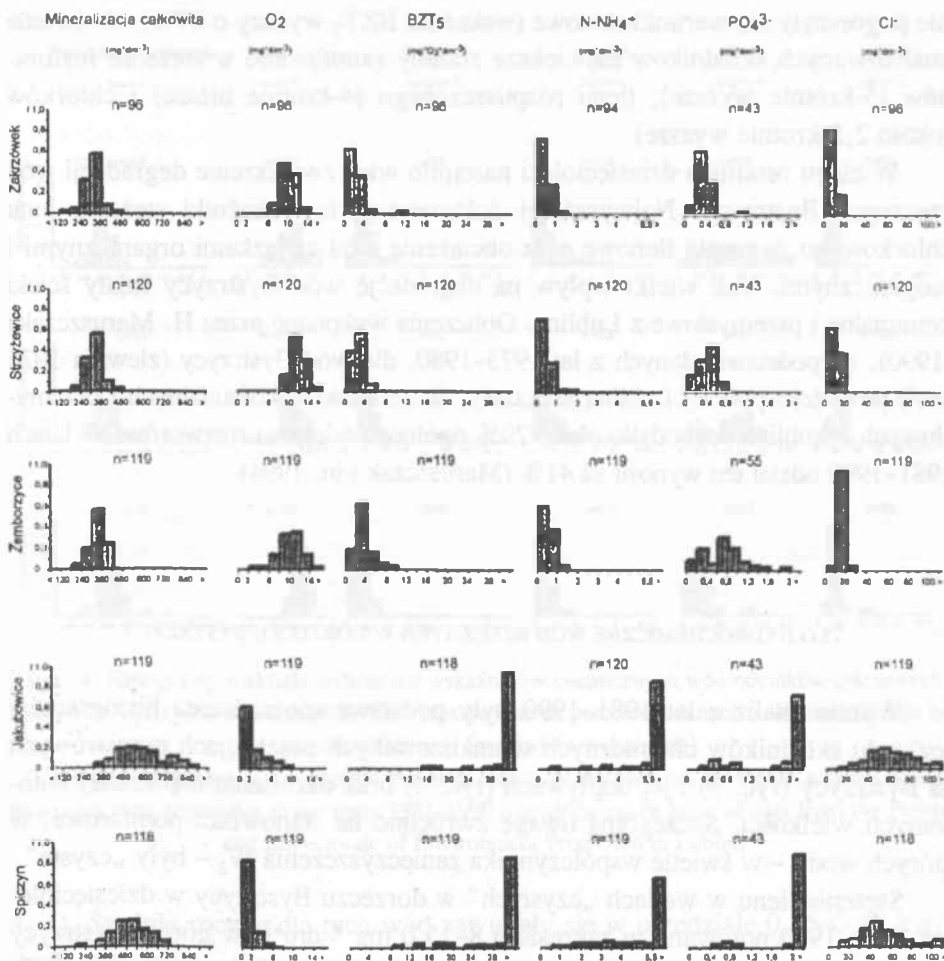
Tab. 4. Zmiany wybranych cech chemizmu wód rzecznych Bystrzycy w latach 1941–1991
Changes of the selected chemical features of the Bystrzyca river water in the years 1941–1991

Stanowisko pomiarowe (rzeka)	Okres badań	Mineralizacja całkowita [mg*dm ⁻³]	Średnie stężenie składników [mg*dm ⁻³]				Wskaźnik BZT ₅ [mg*O ₂ *dm ⁻³]
			Cl ⁻	N-NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	O ₂	
Spiczyn	1941 ¹	381	17,7	—	0,72	9,9	—
	1959 ²	416	31	7,04	0,84	3,6	55,6
	1981 ³	425	30,9	4,94	—	2,5	31,0
	1991 ³	527	81,5	11,39	4,37	0,9	70,6

Wyniki analiz według: ¹ H. Stangenberg (1951) – wyniki jednorazowych pomiarów wykonanych w lipcu; ² K. Czyż i in. (1963) – średnie z czterech pomiarów wykonanych w różnych sezonach roku; ³ Dane Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie – pomiary wykonywane 12-krotnie w roku;

Results of analyses after: ¹ H. Stangenberg (1951) – results of single measurements made in July; ² K. Czyż et al. (1963) – mean values of four measurements made in different seasons of the year; ³ Data from the Provincial Inspectorate of Environment Protection in Lublin – measurements made twelve times during the year

W 1941 roku obciążenie wód rzecznych antropogenicznymi produktami było bardzo małe; Lublin był wówczas znacznie mniejszym miastem (122 tys. mieszkańców w 1939 r.). Średnie wskaźniki (mg * dm⁻³): mineralizacji całkowitej (381), stężenia chlorków (17,7) i azotu amonowego (0,72) w wodach Bystrzycy w Spiczynie, a więc obciążonych ówczesnymi ściekami lubelskimi, były niewiele wyższe od dzisiejszego tła hydrochemicznego. Na poziomie dzisiejszego tła było stężenie tlenu rozpuszczonego (9,9 mg * dm⁻³).



Ryc. 3. Histogramy rozkładu wybranych wskaźników chemicznych wód Bystrzycy w latach 1981–1990 (zestawione na podstawie danych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie)

Distribution diagrams of the selected chemical indices of the Bystrzyca river waters in the years 1981–1990 (Compiled on the basis of data from the Provincial Inspectorate of Environment Protection in Lublin)

W 1959 roku obciążenie wód Bystrzycy produktami antropogenicznymi było w dalszym ciągu niewielkie (Lublin liczył wówczas 175 tys. mieszkańców); świadczą o tym wskaźniki chemizmu wód (tab. 4). Drastyczna degradacja wód nastąpiła dopiero w latach późniejszych. Dane z 1991 roku (352,5 tys. mieszkańców) wskazują, że od 1959 roku mineralizacja wód Bystrzycy w Spiczynie wzrosła około 27%, stężenie azotu amonowego wzrosło o 62%, znacz-

nie pogorszyły się warunki tlenowe (wskaźnik BZT₅ wyższy o 27%). W świetle analizowanych składników największe zmiany zanotowano w stężeniu fosforanów (5-krotnie wyższe), tlenu rozpuszczonego (4-krotnie niższe) i chlorków (około 2,5-krotnie wyższe).

W ciągu ostatnich dziesięcioleci nastąpiło więc zwiększenie degradacji wód rzecznych Bystrzycy. Najwyraźniej dokumentują to wskaźniki stężenia jonu chlorkowego, warunki tlenowe oraz obciążenie wód związkami organicznymi i biogenicznymi. Tak wielki wpływ na degradację wód Bystrzycy miały ścieki komunalne i przemysłowe z Lublina. Obliczenia wykonane przez H. Maruszczaka (1990), na podstawie danych z lat 1975–1980, dla wód Bystrzycy (zlewnia 1025 km²) powyżej i poniżej Lublina wykazały, że ze ścieków komunalnych i przemysłowych z Lublina pochodziło około 29% ogólnego odpływu roztworów. W latach 1981–1990 udział ten wynosił aż 41% (Maruszczak i in. 1994).

TŁO HYDROCHEMICZNE WÓD RZECZNYCH W DORZECZU BYSTRZYCY

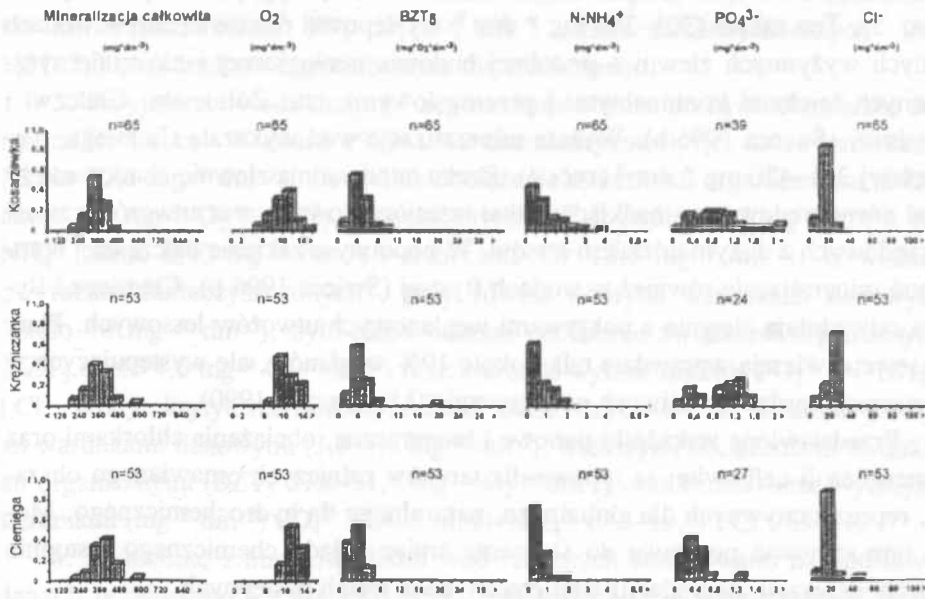
Wyniki analiz z lat 1981–1990 były podstawą sporządzenia histogramów rozkładu składników chemicznych w analizowanych przekrojach pomiarowych na Bystrzycy (ryc. 3) i jej dopływach (ryc. 4) oraz określenia najczęściej notowanych wielkości. Szczególną uwagę zwrócono na stanowiska pomiarowe, w których wody – w świetle współczynnika zanieczyszczenia W_z – były „czyste”.

Stężenie tlenu w wodach „czystych” w dorzeczu Bystrzycy w dziesięcioleciu 1981–1990 notowano w zakresie 6,8–15,0 mg * dm⁻³; w górnej Bystrzycy były to najczęściej 8,0–9,9 (Zakrzówek) i 10,0–11,9 mg * dm⁻³ (Strzyżewice). Zakres 10,0–11,9 najczęściej charakteryzował wody Ciemięgi (ryc. 4). W wodach „czystych” średnie roczne wskaźniki wahały się od 9,6 do 11,2 mg * dm⁻³ (tab. 2, 3).

Znacznie większa była zmienność wskaźnika BZT₅ notowanego w zakresie 0,6–12,0 mg * O₂ * dm⁻³, przy średnich rocznych w przedziale 1,9–2,5 mg * O₂ * dm⁻³ (tab. 2, 3). W Zakrzówku najczęściej notowany w zakresie 0,0–2,0, a w Strzyżewicach i Ciemiędze 2,1–4,0 mg * O₂ * dm⁻³ (ryc. 3, 4).

Stężenia N-NH₄⁺ wykazywały zmienność od 0,0 do 1,78 mg * dm⁻³ (tab. 2, 3), przy średnich rocznych 0,34–0,35 mg * dm⁻³; w wodach górnej Bystrzycy i Ciemięgi najczęściej był to zakres 0,00–0,50 mg * dm⁻³ (ryc. 3, 4).

Stężenia PO₄³⁻ wynosiły 0,06–1,40 mg * dm⁻³; w Zakrzówku i Ciemiędze najczęściej było to 0,21–0,40, a w Strzyżewicach 0,41–0,60 mg * dm⁻³ (ryc.



Ryc. 4. Histogramy rozkładu wybranych wskaźników chemicznych wód odcinków ujściowych dopływów Bystrzycy w latach 1981–1990 (zestawione na podstawie danych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie)

Distribution diagrams of the selected chemical indices of waters from the mouth sections of the Bystrzyca river tributaries in the years 1981–1990 (compiled on the basis of data from the Provincial Inspectorate of Environment Protection in Lublin)

3, 4). Średnie roczne dla tych wód zawierały się w przedziale 0,36–0,40 mg * dm⁻³ (tab. 2, 3).

Stężenia Cl⁻ były niewielkie (2–48 mg * dm⁻³) przy średnich rocznych 10–14 mg * dm⁻³. Najmniejszym obciążeniem chlorkami wyróżniały się wody górnej Bystrzycy (w Zakrzówku i Strzyżewicach najczęściej 5,1–10,0 mg * dm⁻³); wyższe obciążenie wykazały wody Ciemięgi (przeważnie w przedziale 10,1–5,0 mg * dm⁻³).

Mineralizacja całkowita wód „czystych” była zróżnicowana w zależności od budowy geologicznej. W analizowanym dziesięcioleciu 1981–1990 wielkości skrajne znajdowały się w przedziale 127–546 mg * dm⁻³, przy średnich rocznych 312–370 mg * dm⁻³ (tab. 1). W zlewni górnej Bystrzycy, gdzie powszechnie odślaniają się na powierzchni górnokredowe opoki z wkładkami margli i wapieni, mineralizację najczęściej notowano w przedziale 301–360 mg * dm⁻³ (ryc. 3). Podobne wskaźniki charakteryzowały wody „wyraźnie zanieczysz-

czne” tj. Kosarzewki, Krężniczanki (ryc. 4) i Bystrzycy w Zemborzycach (ryc. 3). Ten zakres ($301\text{--}360\text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) występował równie często w wodach innych wyżynnych zlewni o podobnej budowie geologicznej i nie zanieczyszczonych ściekami komunalnymi i przemysłowymi, tzn. Żółkiewki, Giełczwi i Wyżnicy (Świeca 1996 b). Wyższą mineralizację wód wykazała Ciemięga, najczęściej $361\text{--}420\text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (ryc. 4). Rzeka ta odwadnia zlewnię zbudowaną ze skał górnokredowych z nadkładem skał trzeciorzędowych oraz utworów czwartorzędowych z dużym udziałem lessów. W podobnym zakresie najczęściej notowano mineralizację również w wodach Bystrej (Świeca 1996 b). Ciemięga i Bystra odwadniają zlewnie z pokrywami węglanowych utworów lessowych. Płaty lessowe zawierają wprawdzie tylko około 10% węglanów, ale występujących w postaciach bardzo wrażliwych na ługowanie (Maruszczak 1990).

Przedstawione wskaźniki tlenowe i biogeniczne, obciążenia chlorkami oraz mineralizacji całkowitej są typowe dla terenów rolniczych omawianego obszaru, reprezentatywnych dla aktualnego, naturalnego tła hydrochemicznego. Mogą one stanowić podstawę do śledzenia zmian składu chemicznego i stopnia antropogenizacji (degradacji) wód rzecznych w latach następnych.

PODSUMOWANIE

1. Do wód powierzchniowych w zlewni Bystrzycy powyżej przekroju wodowskazowego w Sobianowicach w latach 1989–1992 odprowadzano średnio rocznie około $42,5\text{ mln m}^3$ ścieków; stanowiło to 41% średniego rocznego odpływu rzecznego. Nie obciążone ściekami komunalnymi i przemysłowymi były wody górnej Bystrzycy (powyżej przekrojów w Zakrzówku i Strzyżewicach); mało ścieków (1,2–1,6% średniej rocznej kubatury) przyjmowały wody dwu dopływów Bystrzycy, Krężniczanki i Kosarzewki; aż 97% ścieków odprowadzanych było do Bystrzycy. Rzeka ta obciążona jest ściekami pochodzącymi w dominującej części z Lublina (93% średniej rocznej kubatury odprowadzało Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie).

2. Na podstawie danych pomiarowych z lat 1989–1992 oraz 1981–1990 obliczono współczynniki zanieczyszczenia (W_z) wód w dorzeczu Bystrzycy. Stosując pięciostopniową skalę zanieczyszczenia wyodrębniono wody: „czyste” $W_z < 0,75$ (Bystrzyca w Zakrzówku i Strzyżewicach oraz Ciemięga); „wyraźnie zanieczyszczone” $W_z 1,01\text{--}1,50$ (Bystrzyca w Zemborzycach oraz Kosarzewka i Krężniczanka w badanych odcinkach ujściowych); „krytycznie zanieczy-

szczone” $W_z > 2,0$ (Bystrzyca w Jakubowicach i Spiczynie). Wód „nieznacznie zanieczyszczonych” (W_z 0,76–1,00) i „silnie zanieczyszczonych” (W_z 1,51–2,00) na analizowanym obszarze nie stwierdzono.

3. Przyjęto, że wody „czyste” reprezentują obecne tło hydrochemiczne dorzecza Bystrzycy. W latach 1989–1992 charakteryzowały je: dobre natlenienie (około $10,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), niewielkie obciążenie związkami organicznymi (BZT₅ około $3,0 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$), biogenicznymi (PO_4^{3-} około $0,35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, N-NH_4^+ około $0,40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i chlorkami (Cl^- $12,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). W wodach „wyraźnie zanieczyszczonych”, przy równie dobrych warunkach tlenowych (około $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), było nieco większe obciążenie związkami organicznymi (BZT₅ około $4,0 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz 2-krotnie wyższe stężenie PO_4^{3-} , N-NH_4^+ i Cl^- . Wody „krytycznie zanieczyszczone” charakteryzowały się: znacznie gorszymi warunkami tlenowymi ($3,0\text{--}4,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), większymi obciążeniami związkami organicznymi (BZT₅ $47,0\text{--}81,6 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz wielokrotnie wyższymi stężeniami ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) PO_4^{3-} ($5,4\text{--}5,6$), N-NH_4^+ ($9,5\text{--}13,5$) i Cl^- ($65\text{--}81$).

4. Dynamikę zmian chemizmu wód rzecznych analizowano na podstawie danych pomiarowych z lat 1981–1992. Stwierdzono, że współczynniki zanieczyszczenia W_z w latach 1989–1992 w stosunku do dziesięciolecia 1981–1990 były niewiele wyższe (do 2%) w Ciemiedze i Krężniczance, nieco bardziej (około 10 do 15%) w górnej Bystrzycy w Zakrzówku i Kosarzewce oraz znacznie (około 25%) w środkowym biegu Bystrzycy w Zemborzycach. Bystrzyca w Strzyżewicach wykazała podobną wielkość współczynnika w obu analizowanych okresach. Natomiast w dwóch pozostałych stanowiskach pomiarowych na Bystrzycy – w Jakubowicach i Spiczynie – zanotowano poprawę (W_z niższe odpowiednio o 5 i 15%), którą należy wiązać z oddaniem do użytku oczyszczalni ścieków w Hajdowie. Od charakteru oczyszczania ścieków najbardziej zależne były warunki tlenowe (stężenie tlenu rozpuszczonego i obciążenie związkami organicznymi), a najmniej – zawartości azotu amonowego, fosforanów, chlorków oraz mineralizacji całkowitej.

5. Wody górnej Bystrzycy w Zakrzówku i Strzyżewicach oraz jej dopływu Ciemiegi w dziesięcioleciu 1981–1990 charakteryzowały się najczęściej następującymi wskaźnikami: PO_4^{3-} $0,20\text{--}0,60 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, N-NH_4^+ $0,0\text{--}0,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, Cl^- $5,1\text{--}15,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, O_2 $8,0\text{--}11,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, BZT₅ $0,0\text{--}4,0 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Według wskaźników tlenowych najczęściej notowano je w I klasie czystości wód, a według biogenicznych: N-NH_4^+ – w I klasie czystości, a PO_4^{3-} – w II klasie czystości wód.

6. Stężenie roztworów w wodach „czystych” dorzecza Bystrzycy jest zróżnicowane w zależności od budowy geologicznej. W zlewniach, w których po-

wszechnie odslaniają się na powierzchni górnokredowe opoki z wkładkami margli i wapieni, miejscami przykryte „czapami” skał trzeciorzędowych, mineralizację całkowitą notowano przeważnie w zakresie 301–360 mg * dm⁻³. Duże zmineralizowanie wykazała Ciemięga (361–420 mg * dm⁻³), odwadniająca zlewnię – w podłożu ze skałami górnokredowymi i trzeciorzędowymi i nadkładem lessów, podatnych na ługowanie.

LITERATURA

- Atlas hydrograficzny Polski, 1986; t. 2, z. 1, IMiGW, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Czyż K., Koziorowski B., Moraczewski J. 1963; Charakterystyka zanieczyszczenia rzeki Wieprz. Prace Instytutu Gospodarki Wodnej 1(3), 75–173.
- Harasimiuk M. 1980; Rzeźba strukturalna Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Rozpr. habilit., UMCS, Lublin.
- Harasimiuk M. 1983; Osady paleocenu rejonu lubelsko-chełmskiego. Materiały z konferencji "Kenozoik Lubelskiego Zagłębia Węglowego", UMCS, Lublin, 19–26.
- Harasimiuk M., Henkiel A. 1982; Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski. Ark. Lublin, Wyd. Geol., Warszawa.
- Harasimiuk M, Henkiel A., Przemyski S. 1980; Neotektonika i jej wpływ na warunki wodne Centralnego Rejonu Węglowego. Materiały z sesji „Metody i wyniki hydrogeologicznych badań złóż węgla kamiennych w rejonie CRW LZW”. Wyd. Geol., Warszawa.
- Henkiel A. 1983; Młodszy trzeciorzęd (eocen – pliocen). Materiały z konferencji „Kenozoik Lubelskiego Zagłębia Węglowego”, UMCS, Lublin, 27–40.
- Henkiel A. 1995; Nowa koncepcja morfogenezy Wyżyny Lubelskiej – geologia i geomorfologia Równiny Bełżyckiej (sum. A new concept of the Lublin Upland morphogenesis – geology and geomorphology of the Bełżyce Plain), Ann. UMCS, sec. B, 48 (1993), Lublin, 133–152.
- Kozłowski S. 1991; Gospodarka a środowisko przyrodnicze. PWN, Warszawa.
- Krajewski S. 1984; Wody szczelinowe kredy lubelskiej (sum. Fissure waters in the Cretaceous in the Lublin region). Prz. Geol., 32, nr 6, 359–362.
- Krassowska A. 1977; Kreda w okolicy Kraśnika–Zakrzewa (sum. The Cretaceous of the Kraśnik–Zakrzew area). Przegl. Geol., 25, nr 2, 65–70.
- Łoś M. J., Michalczyk Z. 1984; Wpływ gospodarki wodnej Lublina na przepływy Bystrzycy (sum. Influence of the Lublin water economics on the Bystrzyca River discharges). Gosp. Wod., nr 1, 12–14.
- Łoś M. J., Michalczyk Z. 1989; Antropogeniczne zmiany przepływu Bystrzycy w rejonie Lublina (sum. Anthropogenical alteration of the Bystrzyca River water discharge in the Lublin region). Gosp. Wod., nr 7–8, 151–154.
- Łoś M. J., Michalczyk Z. 1994; Zmiany obiegu wody w rejonie Lublina. Gosp. Wod., nr 8, 170–173.

- Marszałek D., Albrycht A., Bula S. 1991; Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Niedrzwica, PIG Warszawa, s. 33.
- Maruszczak H., 1972, Wyżyny Lubelsko-Wolyńskie. [W:] Geomorfologia Polski, t. 1, PWN, Warszawa.
- Maruszczak H. 1990; Denudacja chemiczna (sum. Chemical denudation). [W:] Współczesne przemiany rzeźby Polski południowo-wschodniej. Prace Geograficzne IGIPZ PAN, 153, 23–41.
- Maruszczak H., Świeca A., Wilgat M., Siewiereniak K. 1993; Udział ścieków komunalno-przemysłowych w odpływie roztworów z wybranych zlewni we wschodniej Polsce jako wskaźnik stopnia degradacji środowiska (The share of communal and industrial sewage in the solution runoff from selected east-Polish catchments as an index of the environmental degradation level). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 169–184.
- Michalczyk Z. 1986; Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Rozpr. habilit., nr 30, UMCS, Lublin.
- Michalczyk Z. (red.) 1993; Źródła zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (sum. Springs of Lublin Upland Western Part). UMCS, Lublin,
- Michalczyk Z., Rederowa E. 1990; Charakterystyka hydrologiczna źródeł okolic Zakrzówka (sum. Hydrological characteristics of the springs in the Zakrzówek region). Ann. UMCS, sec. B, 44/45, 169–186.
- Michalczyk Z., Turczyński M. 1990; Charakterystyka hydrologiczna okolic Turki pod Lublinem (sum. Hydrological characteristics of the Turka area near Lublin). Ann. UMCS, sec. B, 44–45, 187–209.
- Stangenberg M. 1951; Skład chemiczny i bakteriologiczne wskaźniki zanieczyszczenia rzek Wieprza i Pilicy. Wiad. Służby Hydrolog. i Meteorolog., nr 2 (4–5), 305–341.
- Stochlak J. (red.) 1993; Raport o stanie środowiska miasta Lublina. Lublin.
- Świeca A. 1995; Wpływ uwarunkowań środowiskowych na chemizm wód rzecznych i fluwialny transport roztworów w dorzeczu Wieprza (sum. Influence of environmental conditions on chemism of river waters and fluvial solute transport in the Wieprz River basin). Annales UMCS, sec. B, 48 (1993), Lublin, 263–287.
- Świeca A. 1996 a; Zróżnicowanie agroekosystemów na międzyrzeczu Wisły i Bugu w świetle badań chemizmu wód rzecznych (sum. Differentiation of agroecosystems in the Vistula and Bug interfluvium from studies of river water chemism). Materiały z sympozjum „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Prace Naukowe, cz. 1, Puławy, 165–180.
- Świeca A. 1996 b; An anthropogenic impact on a catchment from the studies of river waters chemism in the Wisła and Bug interfluvium. [W:] The Regional Ecological Problems.
- Wilgat T. 1959; Z badań nad wodami podziemnymi Wyżyny Lubelskiej (res. Recherches sur les eaux souterraines du Plateau de Lublin). Ann. UMCS, sec. B, 12, Lublin, 221–241.
- Wilgat T. 1970; Kontrowersja na temat sposobu występowania wód w kredzie lubelskiej (sum. Controversy of water occurrence in the Lublin Cretaceous). Przegl. Geogr., 42, 1, Warszawa, 57–68.
- Wilgat T. 1980 a; Stosunki wodne Lublina (sum. Water relations in Lublin). Biuletyn LTN, 22, Geogr. 1, Warszawa, 19–26.

- Wilgat T. 1980 b; Podstawowe problemy gospodarki wodnej Lublina (sum. Basic problems of water management in Lublin). Biuletyn LTN, 22, Geogr. 1, Warszawa, 33–38.
- Wyrwicka K. 1977; Obecny stan rozpoznania i perspektywy rozwoju bazy kredowych surowców węglanowych na Wyżynie Lubelskiej (sum. The present state of the Cretaceous carbonate resources of the Lublin Highland). Prz. Geol., 25, nr 12, 643–651.
- Wyrwicka K. 1983; Piotrków XX, Bychawa SW3, Trawniki SW2. Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego, 58, Warszawa.
- Żelichowski A. M. 1972; Rozwój budowy geologicznej obszaru między Górami Świętokrzyskimi i Bugiem (sum. Evolution of the geological structure of the area between the Góry Świętokrzyskie and the river Bug). Biul. Inst. Geol., nr 263.

SUMMARY

Differentiation of hydrochemical features in dependence on the geological structure of the Bystrzyca river catchment was determined on the basis of hydrometric measurements and results of river water analyses in the years 1981–1992. A special attention was given to changes under the influence of sewage from the Lublin city area.

The largest part of the Bystrzyca river catchment is situated in the Lublin Upland built of carbonate Upper Cretaceous rocks which are exposed in a considerable part of the catchment (Fig. 1C). In some partial catchments, Cretaceous rocks are overlaid by Tertiary or Quaternary deposits; among the Quaternary ones – loesses are wide-spread (Fig. 1C). In the Wieprz river basin the Bystrzyca river catchment is distinguished by the greatest volume of municipal and industrial sewage; in the years 1989–1992 the mean annual volume of sewage discharged into surface waters was 42.5 mln m³, coming mainly from Lublin (352,500 inhabitants in 1991).

The results of analyses from eight measurement points (Fig. 1A) were treated statistically for the years 1989–1992 and for the decade 1981–1990 separately (Fig. 2, Tables 1–3). Using the pollution index W_z (Table 1), estimated on the basis of the mean annual indices of water chemism, the analysed waters were classified in a five-degree pollution scale (Table 1, Fig. 2). The following waters were distinguished here: clean (Bystrzyca river in Zakrzówek and Strzyżewice, and Ciemiega river); considerably polluted (Bystrzyca river in Zemborzyce, Kosarzewka and Krężniczanka rivers in their mouth sections), and extremely polluted (Bystrzyca river in Jakubowice and Spiczyn). Slightly polluted and heavily polluted river waters are absent in the analysed area.

The results of studies of waters unpolluted with municipal and industrial sewage were the basis for estimation of typical parameters for the present hydrochemical background of river waters in the Bystrzyca river catchment. From the data of the years 1989–1992 these waters were characterized by BZT₅ index 2.6 mg O₂*dm⁻³ and by the following ion concentrations: Cl⁻ – 10.5 mg*dm⁻³, PO₄³⁻ – 0.38 mg*dm⁻³, N-NH₄⁺ – 0.40 mg*dm⁻³, O₂ – 10.5 mg*dm⁻³. The complex pollution index W_z was about 0.70, i.e. typical of clean waters.

Sewage discharged into surface waters changes their chemism to a considerable degree (Tables 1–3, Figs. 2–4). Waters of the Bystrzyca river in Spiczyn (the mouth section to the Wieprz river) influenced by municipal and industrial sewage are extremely polluted. In the years 1989–1992 their pollution index W_z was 12 times higher in comparison with the hydrochemical

background, the content of organic compounds was 18 times higher, the total solute concentration was higher by about 67%, oxygen concentration was 3.5 times lower, concentrations of ions were higher: Cl^- – 6.5 times, PO_4^{3-} – 14 times, N-NH_4^+ – 24 times.

In relation to 1981–1990 decade, the data of the years 1989–1992 show changes occurring with time (Fig. 2, Tables 1–3).

In relation to the decade, the pollution indices W_z in clean waters in the years 1989–1992 were: without change (Bystrzyca river in Strzyżewice), or slightly higher (Ciemięga river, and Bystrzyca river in Zakrzówek). Thus, the quality of these waters was constant or only slightly deteriorated. In the years 1981–1992 in clean waters the chemical components were mostly recorded in the following intervals: PO_4^{3-} – 0.21–0.60 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, N-NH_4^+ – 0.0–0.5 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, Cl^- – 5.1–15.0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, O_2 – 8.0–11.9 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, BZT_5 – 0.0–4.0 $\text{mg O}_2 \cdot\text{dm}^{-3}$. The total solute concentration was differentiated in dependence on the geological structure. In the upper Bystrzyca river catchment, where the Upper Cretaceous opokas with interbeds of marls and limestones are usually exposed, the solute concentration was mostly in the interval 301–360 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Fig. 3). A higher solute concentration (usually 361–420 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) was recorded in the Ciemięga river (Fig. 4) draining the catchment built of the Upper Cretaceous rocks covered by Tertiary and Quaternary deposits among which well leachable loesses predominate.

Waters of the Bystrzyca river downstream of Lublin (extremely polluted according to the pollution index W_z) showed quality improvement, decisively connected with installing a sewage-treatment plant in Hajdów. In comparison with the decade 1981–1990, the mean annual indices of the years 1989–1992 recorded the greatest favourable changes in loading with organic compounds and in the concentration of dissolved oxygen (Fig. 2, Table 2). The total solute and chloride concentrations (Figs. 2, 3, Table 1), and oxygen and biogenic indices (Figs. 2, 3, Table 2) show distinctly different chemical features of waters influenced by sewage from a big town.

