

Dariusz CISZEWSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Agnieszka POCIECHA, Bronisław SZCZĘSNY, Elżbieta WILK-WOŹNIAK

Tadeusz ZAJĄC

Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków

WPŁYW WÓD WISŁY NA ZANIECZYSZCZENIE CHRONIONYCH STARORZECZY W REJONIE SPYTKOWIC

Streszczenie. Starorzecza Wisły w rejonie Spytkowic w dolinie górnej Wisły stanowią obszar chroniony Natura 2000 zagrożony wskutek napływu jej zanieczyszczonych wód. Przeprowadzone badania wód starorzeczy pokazują kilkukrotny wzrost zawartości chlorków, siarczanów, węglanów, fosforanów, azotanów, sodu, potasu, magnezu, wapnia oraz przewodności przy wyższych niż przeciętne stanach wody w Wiśle, chociaż powodzie powodują zmniejszenie koncentracji większości z tych składników. Również osady denne w części starorzecza, do której dopływa woda z Wisły, zawartości cynku, ołowiu i kadmu są przeciętnie 3 razy wyższe niż w jego części położonej poza wałami. Znacząca część kadmu, około 50-70%, pozostaje w formach łatwo przyswajalnych dla organizmów i może powodować ich kumulację w żerujących w dnie małżach.

INFLUENCE OF THE VISTULA RIVER WATERS ON POLLUTION OF THE PROTECTED OXBOW LAKES AT SPYTKOWICE (SOUTHERN POLAND)

Summary. The oxbow lake at Spytkowice in the upper Vistula River valley is a protected area Natura 2000 endangered by the inflow of contaminated Vistula waters. Investigations of waters of the oxbow lake exhibit multifold increase of chlorides, sulphates, carbonates, phosphates, nitrates, sodium, magnesium, calcium and conductivity at Vistula water stages higher than average however, floods effects in a dilution of these contaminants. Moreover, bottom sediments in parts of the lake affected by the Vistula water inflow are 3 times more contaminated with zinc, lead and cadmium, on average, than that behind flood dykes. The significant part of cadmium, about 50-70% occurs in form the most available for benthic organisms, which may cumulate in sediment-feeding mussels.

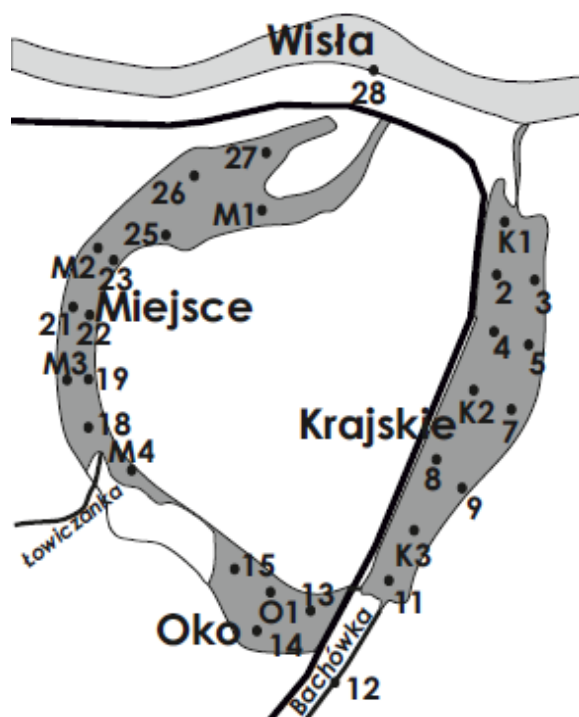
1. Wprowadzenie

Postępująca od początku XIX w. regulacja koryt rzecznych powoduje wstrzymanie naturalnego procesu tworzenia się starorzeczy. Ich ilość w związku z tym maleje, gdyż starorzecza mają niewielką pojemność i stosunkowo szybko, w czasie geologicznym, ulegają wypełnieniu osadami organicznymi, a także, w czasie powodzi, osadami mineralnymi [7]. Zanikanie starorzeczy współcześnie jest znacząco przyspieszone także wskutek innych form działalności człowieka. Istotnymi czynnikami degradującymi siedliska starorzeczy wpływającymi na ich zanik oraz zmniejszenie różnorodności gatunkowej są: użytkowanie rolnicze (orka, używanie pestycydów, nawożenie, wypas), wycinanie zarośli łągowych i szuwarów nabrzeżnych, doprowadzanie wód zanieczyszczonych i śmieci przyspieszające eutrofizację, a także regulacja stosunków wodnych w ich sąsiedztwie, łącznie z osuszaniem, wcinaniem się koryt rzecznych i budową obwałowań [1, 3, 4]. Skutkiem tych działań w ostatnich latach dostrzega się potrzebę prawnej ochrony tego typu obiektów, stanowiących jedne z najistotniejszych centrów różnorodności biologicznej na równinach zalewowych. Jednym z nich jest starorzecze w okolicy Spytkowic w dolinie górnej Wisły poniżej ujścia Skawy, które zostało odcięte w wyniku regulacji Wisły pod koniec XIX wieku. Ze względu na znaczne rozmiary (48 ha) oraz stosunkowo dużą różnorodność gatunkową występującą w nim, zostało ono uznane za obszar cenny i objęte ochroną Natura 2000. Znaczna jego część ulega jednak wpływom zanieczyszczonych wód Wisły, które transportują także zanieczyszczone metalami ciężkimi osady akumulujące się w dnie starorzecza, wpływając na jego degradację. Celem prezentowanych badań jest ocena skali tej degradacji oraz jej czasowego i przestrzennego zróżnicowania.

2. Obszar badań

Badane starorzecze Wisły składa się z trzech zbiorników (rys. 1). Jeden z nich, zbiornik Krajskie, znajduje się na obszarze międzywala i jest połączony z Wisłą kanałem. Pozostałe dwa zbiorniki Miejsce i Oko są chronione przed zalewami powodziowymi Wisły wałami przeciwpowodziowymi. Do zbiornika Miejsce dopływa stosunkowo czysty strumień Łowiczanka zasilany wodami rzeki Skawy (około $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$), który następnie przepływa przez

najmniejszy zbiornik Oko i wypływa do zbiornika Krajskie. Zbiornik ten jest także zaopatrywany przez niewielki dopływ Bachówka (kilka dm^3/s w okresie stanów niskich), który przepływa przez miejscowość Spytkowice i jest przez to znacznie zanieczyszczony. Poziom wód w starorzeczu jest kontrolowany przez spiętrzenie wód Wisły na pobliskim stopniu w Łączanach, powodując ich dopływ do części w międzywale przy stanach powyżej przeciętnych. Ta część starorzecza jest także zalewana w czasie powodzi. Na przykład, w dniach 26-28 07. 2010 stan jego wód podniósł się o ponad 2,5 metra. Natomiast część położona poza wałami przeciwpowodziowymi jest oddzielona przepustem w wale, który w czasie powodzi jest zamykany, powodując stopniowe podnoszenie się wód w części starorzecza Oko i Miejsce wskutek blokowania odpływu wód strumienia Łowiczanka. Zbiorniki starorzecza są stosunkowo płytkie, wypełnione mułem sapropelowym. Głębokość starorzecza w międzywale nie przekracza 1 metra, natomiast poza wałami przeważnie jest większa i wynosi 1-1,5 m, a w najgłębszych miejscach- około 2,5 metra. Odcinki starorzeczy położone w pobliżu Wisły oraz ich przeciwległe krańce, a także niemal cały najmniejszy zbiornik jest zarośnięty szuwarami lub grążelem żółtym. Zbiorniki te są intensywnie zarybiane - nawet 4,5 t ryb rocznie, które są odławiane przez miejscowe koło wędkarskie.



Rys. 1. Punkty poboru prób osadów dennych oraz wód w starorzeczu Wisły w pobliżu Spytkowic
Fig. 1. Location of sampling points of waters and bottom sediments in the oxbow lake at Spytkowice

3. Metoda badań

Pobór prób wód powierzchniowych starorzeczy był dokonywany 3-krotnie: w kwietniu, czerwcu i we wrześniu 2011 roku z 8 stanowisk położonych w zwiększającej się odległości od koryta Wisły. Na starorzeczu Krajskie, w strefie międzywala, próbki wody pobierano przy dopływie wód z Wisły (K1), w części centralnej (K2) oraz przy dopływie wód Bachówki, w starorzeczu Oko tylko w jego punkcie środkowym (O1). Natomiast w starorzeczu Miejsce pobierano wodę w pobliżu koryta Wisły (M1), w jego części środkowej w równych odległościach między obydwoma końcami (M2 i M3) oraz przy dopływie wód strumienia Łowiczanka (M4, rys. 1). Ponadto, w 2010 roku pobierano 3-krotnie próbki wody tylko w centralnej części starorzeczy oraz z Wisły i strumieni Łowiczanka i Bachówka w dniach 22 VII (stany niskie przed powodzią), 12 VIII (stany średnie wysokie po przejściu fali powodziowej) i 9 X (stany średnie niskie).

W pobranych próbkach w terenie mierzono: temperaturę, przewodnictwo elektrolityczne, odczyn (pH) i zawartość tlenu aparaturą firmy WTW. W laboratorium oznaczano stężenia kationów litu, sodu, amonu, potasu, magnezu i wapnia na chromatografie jonowym ICS 1000, natomiast zawartość anionów: fluorkowych, chlorkowych, azotanowych (V), wodorowęglanowych, siarczanowych (VI), azotanowych (VI) i fosforanowych za pomocą chromatografu jonowego IC DX - 320 z kolumną analityczną AS15 4 mm firmy DIONEX.

Osady pobierano w 28 miejscach z powierzchniowej warstwy dna starorzeczy próbnikiem Van Veena, a także ze strumienia Bachówka oraz z koryta Wisły. W osadach określono jego pH, Eh i PEW, a następnie wydzielono frakcję ziarnową $<63 \mu\text{m}$ na mokro i określono jej udział procentowy. W osadach oznaczono zawartość Cd, Zn, Pb, Fe i Mn po ekstrakcji w mieszaninie 65% HNO_3 i 30% H_2O_2 metodą ICP-MS (PerkinElmer ELAN 6100) oraz 3-stopniową specjację metodą BCR.

4. Wyniki

Generalnie, jakość badanych wód jest wyraźnie zróżnicowana w zależności od proporcji zasilania poszczególnych części starorzecza wodami Wisły i strumienia Łowiczanki, natomiast wpływ Bachówki na jakość wód ze względu na niewielki jej przepływ jest na ogół

mniej widoczny. W starorzeczu Krajskie wpływ wód Wisły był widoczny przy jej ponadprzeciętnych stanach obserwowanych w czerwcu 2011 roku (tab. 1). W tym czasie zaobserwowano także 2,5 razy wyższą przewodność w punkcie w pobliżu dopływu wód Wisły niż w przeciwległym krańcu, do którego wpływają wody strumienia Łowiczanka. Najbardziej charakterystyczna między tymi punktami jest 3-krotna różnica zawartości chlorków i sodu, związana między innymi ze zrzutami zasolonych wód kopalnianych do Wisły. Podobnej wielkości są również różnice zawartości fosforanów. Mniejsze, bo około 2-krotne, są różnice zawartości innych składników, jak azotyny, azotany i węglany, związanych niewątpliwie częściowo ze zrzutami ścieków z obszaru Górnego Śląska. Jeszcze mniejsze, bo około 1,5-krotne, są różnice zawartości siarczanów, potasu, magnezu i wapnia. Na wyraźny wpływ Wisły wskazują także obserwacje prowadzone w poprzednim roku (2010) w lipcu, kiedy w wodach Wisły obserwowano przewodnictwo elektrolityczne dochodzące do 2630 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a zawartości jonu chlorkowego dochodziły do 623 mg/dm^3 , siarczanowego do 172, sodu do 343, a magnezu do 46 mg/dm^3 . Ponadto, obserwowano wtedy także wysokie stężenia potasu, wapnia i jonu azotynowego.

W okresach występowania przeciętnych stanów wody (kwiecień 2011) wpływ dopływu wód Wisły ma mniejsze znaczenie dla jakości wód w starorzeczu Krajskie i przede wszystkim wyraża się podniesieniem koncentracji chlorków i sodu. Natomiast, zawartości pozostałych składników chemicznych są wypadkową dopływu wód Bachówki, Łowiczanki oraz biochemicznych procesów kontrolowanych przez rozwój glonów i innych organizmów. Wpływ na procesy biochemiczne ma również zawartość tlenu silnie uzależniona od temperatury, szczególnie szybko podnoszącej się w ciepłej porze roku ze względu na małą głębokość zbiornika.

Przy niskich stanach wody w Wiśle, w czasie których nie występował dopływ jej wód, wartości badanych parametrów były mniej zróżnicowane w całym starorzeczu, a nawet w okresie małych dopływów wód wraz ze strumieniami we wrześniu, w górnym krańcu starorzecza Krajskie występowały wyższe zawartości wielu związków chemicznych niż przy ujściu do Wisły, spowodowane dopływem silnie zanieczyszczonych wtedy wód strumienia Bachówka. Dopływ tego strumienia wpływa także na ogólnie większą mineralizację wód zbiornika Krajskie niż Miejsce, do którego dopływa tylko niezanieczyszczona woda

z Łowiczanki (tab. 2). Wyrazem tego jest między innymi znaczna, niemal 2-krotna, różnica przewodności wód tych zbiorników. Na okresowo możliwą istotną rolę dopływu strumienia Bachówka wskazują także analizy z lipca 2010 roku, kiedy w tym strumieniu stwierdzono najwyższe stężenia biogenów: jonu amonowego ($7,81 \text{ mg/dm}^3$), azotanowego ($10,73 \text{ mg/dm}^3$) oraz fosforanowego (niemal $2,5 \text{ mg/dm}^3$), a także wysokie stężenia potasu i magnezu.

Tabela 1

Zmiany parametrów fizykochemicznych badanych wód w starorzeczu zasilanym wodami Wisły (Krajskie) w 2011 roku

Krajskie	Kwiecień			Czerwiec			Wrzesień		
	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
pH	7,45	7,46	7,42	7,74	7,54	7,48	7,44	8,2	7,8
Przewodność ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	463	503	411	1211	939	505	367	501	539
Fluorki (mg/L)	0,0966	0,0921	0,0990	0,0860	0,0720	0,1060	0,1269	0,1390	0,1447
Chlorki (mg/L)	47,65	58,12	32,64	145,86	102,24	59,75	29,045	73,93	83,28
Azotyny (mg/L)	0,071	0,0754	0,0861	0,0078	0,0035	0,0049	0,0335	0,0194	0,1194
Węglany (mg/L)	142,74	141,90	147,63	332,67	310,11	167,60	153,00	153,82	153,13
Siarczany (mg/L)	41,73	42,98	40,54	62,09	56,42	43,98	34,48	40,54	40,49
Azotany (mg/L)	2,345	2,161	2,554	1,132	0,992	0,662	0,157	0,054	0,06
Fosforany (mg/L)	0,0018	0,0110	0,0008	0,0083	0,0062	0,0026	0,0460	0,0193	0,0382
Lit (mg/L)	0,004	0,004	0,003	0,010	0,009	0,005	0,003	0,005	0,004
Sód (mg/L)	30,87	36,99	21,64	116,41	85,40	35,48	19,50	46,62	52,78
Amon (mg/L)	0,085	0,091	0,220	0,164	0,109	0,193	0,091	0,001	0,009
Potas (mg/L)	3,658	3,994	3,276	5,809	5,092	3,908	3,453	4,384	4,511
Magnez (mg/L)	8,699	9,313	7,518	17,079	14,359	9,359	8,027	10,762	11,318
Wapń (mg/L)	49,072	49,563	49,562	67,395	68,343	52,939	46,871	47,612	47,608

Starorzecze Miejsce pozostaje pod stałym wpływem niezanieczyszczonych wód Łowiczanki, dlatego też jakość jego wód jest dobra. Cechuje ją skład chemiczny charakterystyczny dla wód typu wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowego, powszechnie występujący w karpackiej części zlewni Wisły. Jego zróżnicowanie przestrzenne jest stosunkowo niewielkie, a wyższe zawartości azotanów w płytkiej części starorzecza w pobliżu koryta Wisły oraz ich znacznie wyższe wartości w lecie niż w innych porach roku mogą być wynikiem większej intensywności degradacji materii organicznej zgromadzonej w osadach dennych.

Badania wód prowadzone w 2010 roku pokazały wyraźny wpływ powodzi na zróżnicowanie składu chemicznego wód Wisły, starorzeczy oraz ich dopływów. Przede wszystkim po powodzi w dniach 25-28 VII w korycie Wisły zaobserwowano kilku-, a nawet kilkunastokrotny spadek zawartości azotynów, siarczanów, fosforanów oraz jonu amonowego i przewodności, a więc parametrów związanych z zanieczyszczeniem ściekami, głównie

komunalnymi. Znacznie mniejszy był spadek zawartości siarczanów, chlorków, sodu i magnezu, natomiast zawartości węglanów, związane w największym stopniu z naturalnym ługowaniem obszaru zlewni, nie uległy istotnej zmianie. W następującym po powodzi okresie do października 2010 roku, w korycie Wisły zaobserwowano wzrost wszystkich badanych wartości, jakkolwiek większość z nich w dalszym ciągu pozostawała na znacznie niższym poziomie niż przed powodzią. Wyjątkiem są pierwiastki sód, wapń, magnez i potas, których wartości osiągnęły podobny poziom do tego sprzed powodzi. Podobny efekt obserwowano na strumieniu Bachówka, na którym, również wskutek występujących opadów i wezbrania, nastąpiło okresowe poprawienie się jakości wód, jednak zaobserwowany równocześnie wzrost koncentracji azotynów, siarczanów, a przede wszystkim azotanów (nawet kilkukrotny) może wskazywać na wymywanie zanieczyszczeń organicznych z pól i z sąsiedztwa zabudowań miejscowości Spytkowice, przez którą ten strumień przepływa.

Tabela 2

Zmiany parametrów fizykochemicznych badanych wód w starorzeczu Miejsce zasilanym wodami strumienia Łowiczanka w 2011 roku

Miejsce	Kwiecień				Czerwiec				Wrzesień			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
pH	7,90	7,75	7,79	7,29	7,49	7,58	7,43	7,50	7,73	7,81	7,72	7,78
Przewodność ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	299	307	310	329	339	338	339	343	309	309	307	306
Fluorki (mg/L)	0,066	0,066	0,0678	0,0663	0,087	0,088	0,087	0,093	0,101	0,100	0,059	0,109
Chlorki (mg/L)	12,79	13,58	15,85	15,13	13,25	13,81	13,72	13,76	15,00	14,47	12,85	15,51
Azotyny (mg/L)	0,012	0,015	0,0149	0,0185	0,079	0,068	0,076	0,067	0,015	0,016	0,008	0,014
Węglany (mg/L)	120,0	124,0	127,9	147,5	165,1	166,7	166,2	167,1	153,5	151,7	149,6	153,2
Siarczany (mg/L)	29,01	31,41	32,03	30,89	33,15	37,16	33,73	34,48	30,46	29,58	15,82	30,48
Azotany (mg/L)	0,734	0,518	0,343	0,375	0,632	0,702	0,858	0,786	0,570	0,444	0,100	0,165
Fosforany (mg/L)	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,026	0,037	0,019	0,017
Lit (mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Sód (mg/L)	9,996	10,32	10,39	10,17	11,23	11,41	11,41	11,08	11,45	11,44	11,44	11,67
Amon (mg/L)	0,004	0,005	0,008	0,010	0,380	0,320	0,342	0,290	0,002	0,006	0,030	0,006
Potas (mg/L)	2,391	2,506	2,534	2,722	2,351	2,585	2,545	2,442	2,862	2,687	2,691	2,749
Magnez (mg/L)	6,047	6,301	6,332	6,433	6,728	6,881	6,877	6,737	6,917	6,945	6,944	6,946
Wapń (mg/L)	40,5	42,3	43,04	43,51	48,5	49,4	49,0	48,91	46,11	46,33	45,48	45,31

W efekcie wezbrania nastąpiła także zmiana jakości wody w zalanym zbiorniku Krajskie. Charakteryzowała się ona zmniejszeniem zawartości większości badanych składników. Wyjątkiem jest wzrost zawartości azotanów, azotynów i siarczanów skorelowany ze zwiększonym dopływem tych związków z wodami Bachówki. Natomiast, obserwowane po powodzi spadki zanieczyszczenia w zbiorniku Krajskie wydają się być spowodowane przede wszystkim wpływem wód Wisły, które w fazie recesji fali powodziowej mogą powodować

rozcieńczenie wód w starorzeczu. Występowanie takiego efektu jest głównie związane z istnieniem połączenia kanałem umożliwiającym przepływ wody, który utrudnia długotrwałą retencję biogenów, obserwowaną przeważnie w izolowanych starorzeczach [2, 5]. W odróżnieniu od części starorzecza Krajskie, w części niezalanej Miejsce, w badanym okresie nie zaobserwowano istotnego zróżnicowania składu chemicznego, a obserwowane różnice mogą być wynikiem raczej procesów biochemicznych niż fizycznej dostawy lub eksportu ładunku zanieczyszczeń (tab. 3).

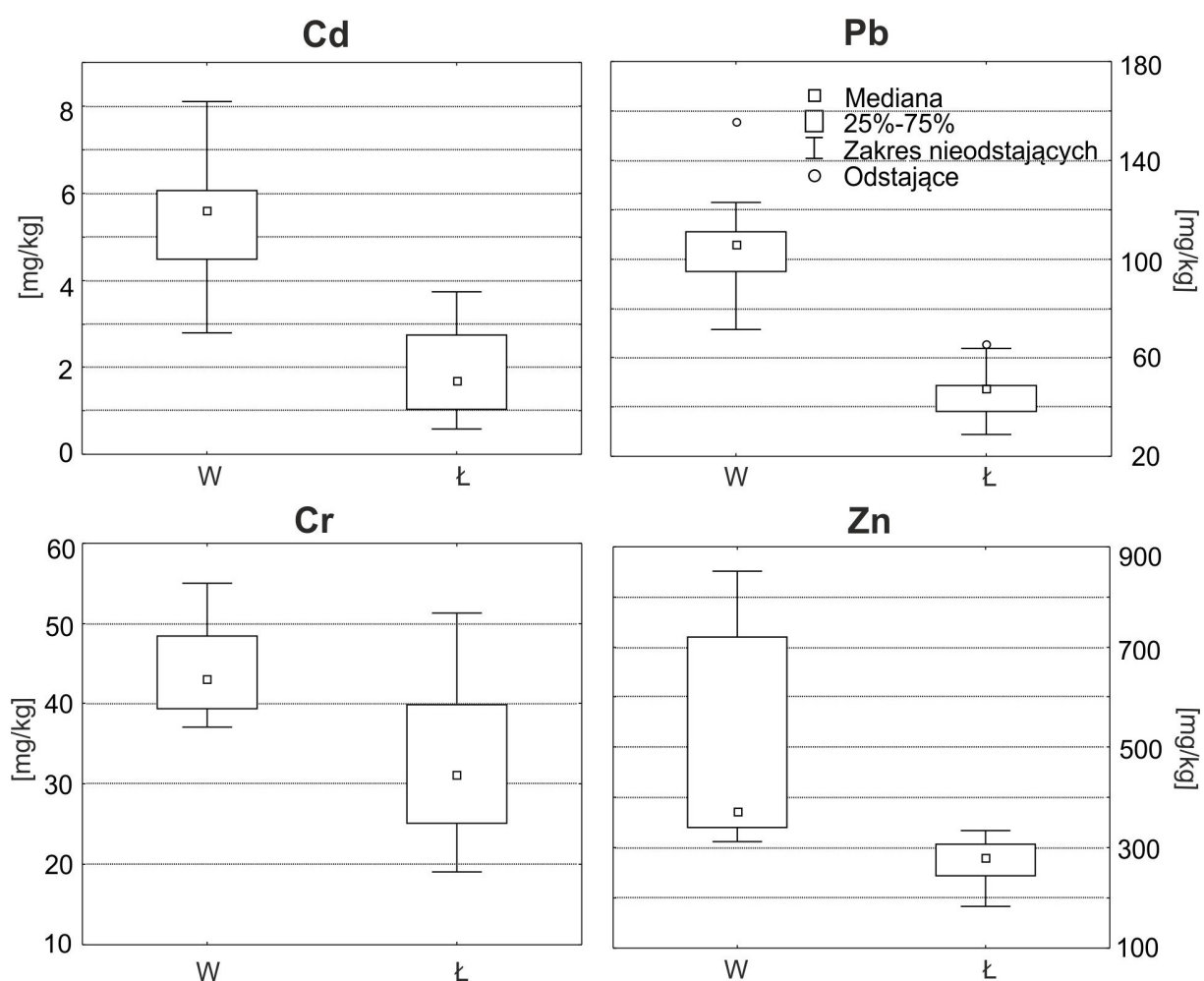
Tabela 3

Zmiany parametrów fizykochemicznych wód Wisły (W), Bachówki (B) oraz starorzecza Krajskie (K) i Miejsce (M) w 2010 roku

Data	22 VII 2010				12 VIII 2010				9 X 2010			
	W	K	M	B	W	K	M	B	W	K	M	B
pH	7,31	8,43	7,5	7,81	7,52	7,69	7,83	7,54	7,66	7,68	7,56	7,72
Przewodność (μS*cm-1)	2630	443	302	650	147	405	315	506	239	464	289	510
Chlorki (mg/L)	605	43,5	11,73	40,74	287	32,2	14,2	22,1	622	49,7	13,5	27,1
Azotyny (mg/L)	2,21	0,01	0,03	0,574	0,21	0,18	0,00	1,24	0,19	0,15	0,11	0,41
Węglany (mg/L)	166	141	132	276,9	162	132	130	192	201	163	142	227
Siarczany (mg/L)	172	31,11	22,60	36,31	94,40	36,1	25,75	54,1	138	43,60	30,3	57
Azotany (mg/L)	6,67	0,01	0,11	1,114	5,41	1,68	0,00	7,39	6,70	3,94	1,04	10
Fosforany (mg/L)	65,4	11,90	0,30	2341	18,20	3,30	0,60	144	35,4	29,70	0,70	218
Sód (mg/L)	343	27,47	9,52	37,95	179,8	21,3	10,7	19,3	333	32,22	9,89	22,6
Amon (mg/L)	3,23	0,14	0,02	7,81	0,68	0,06	0,01	1,17	1,31	0,55	0,76	2,19
Potas (mg/L)	13,0	4,14	3,33	10,97	8,54	5,28	3,64	6,75	13,3	4,59	3,40	6,63
Magnez (mg/L)	45,6	8,56	6,22	11,15	25,26	7,37	6,32	9,82	44,9	9,62	6,49	10,6
Wapń (mg/L)	114	47,1	41,5	76,14	77,9	44,8	42,77	72	110	55,06	42,06	72,4

Badane osady strumieni i starorzeczy są umiarkowanie zanieczyszczone kadmem, ołowiem, chromem i cynkiem. Ich zawartości są jednak istotnie zróżnicowane. Najwyższe z nich występują w korycie Wisły i są przeważnie 1,5-2 razy wyższe niż w najbardziej zanieczyszczonym punkcie starorzecza, K1, znajdującym się w starorzeczu Krajskie w pobliżu wylotu kanału doprowadzającego wodę z Wisły (rys. 1). W tej części starorzecza Krajskie, do odległości nieprzekraczającej około 900 m od koryta Wisły, koncentracje metali są wyraźnie wyższe niż w pozostałej części położonej w pobliżu ujścia strumienia Łowiczanka. Porównywalnie niższe koncentracje występują także w części starorzecza Oko oraz w południowej części starorzecza Miejsce do punktu M3 w pobliżu ujścia strumienia Łowiczanka. W części starorzecza Miejsce, położonej bezpośrednio w pobliżu koryta Wisły i wypełnionej w dużym stopniu osadami organicznymi, koncentracje tych metali są również

wyższe, jednak mniejsze niż w części północnej starorzecza Krajskie. Podział osadów na dwie opisane populacje uzyskano stosując metodą dendrytową dla mediany ważonych środków ciężkości. Różnice koncentracji metali w tych populacjach przedstawia rys. 2. Dla ołowiu i kadmu są one nawet 2-, 3-krotne, ponieważ Wisła jest głównym źródłem tych pierwiastków, pochodzących głównie z kopalń rud cynku i ołowiu na Górnym Śląsku. Niskie koncentracje tych metali w osadach Bachówki pokazują, że nie wpływa ona istotnie na zanieczyszczenie nimi osadów starorzeczy, a więc w południowej, niezanieczyszczonej części są one kształtowane przez dopływ strumienia Łowiczanka.



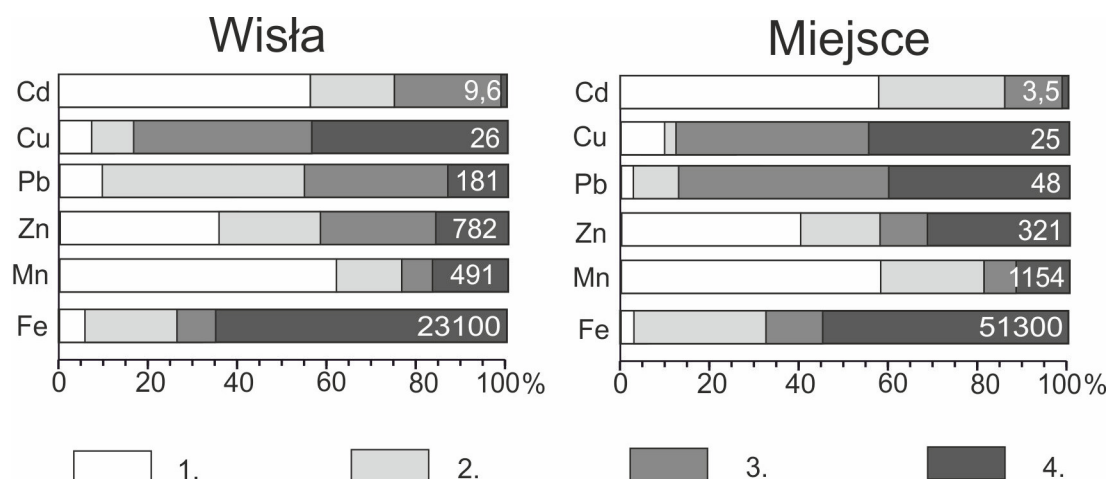
Rys. 2. Koncentracje wybranych metali ciężkich w badanym starorzeczu Wisły w części objętej wpływem zanieczyszczonych wód Wisły (W) i niezanieczyszczonych wód strumienia Łowiczanka (Ł)

Fig. 2. Concentrations of the selected heavy metals in the investigated oxbow lake in section impacted by inflow of the contaminated Vistula waters (W) and uncontaminated waters from Łowiczanka stream (Ł)

Natomiast, mniejsze są różnice koncentracji cynku pomiędzy tymi populacjami osadów, co jest związane z dużym rozpowszechnieniem tego pierwiastka w różnego rodzaju ściekach, także dopływających wraz ze strumieniem Bachówka. Stąd także w osadach tego strumienia występują podniesione w stosunku do tła geochemicznego koncentracje cynku- ponad 300 mg/kg. W przeciwieństwie do cynku, chrom jest pierwiastkiem niewystępującym powszechnie w zanieczyszczeniach i może pochodzić z Wisły, a być może także z uchodzącej w pobliżu do Wisły, zanieczyszczonej chromem rzeczki Regulki. Podniesione o około 20-40% zawartości chromu, a także cynku w osadach północnej części starorzecza Miejsce można tłumaczyć zanieczyszczeniami dostającymi się w czasie zalewów, w okresie poprzedzającym budowę stopnia wodnego w Łączanach oraz towarzyszącego mu obwałowania w sąsiedztwie starorzecza.

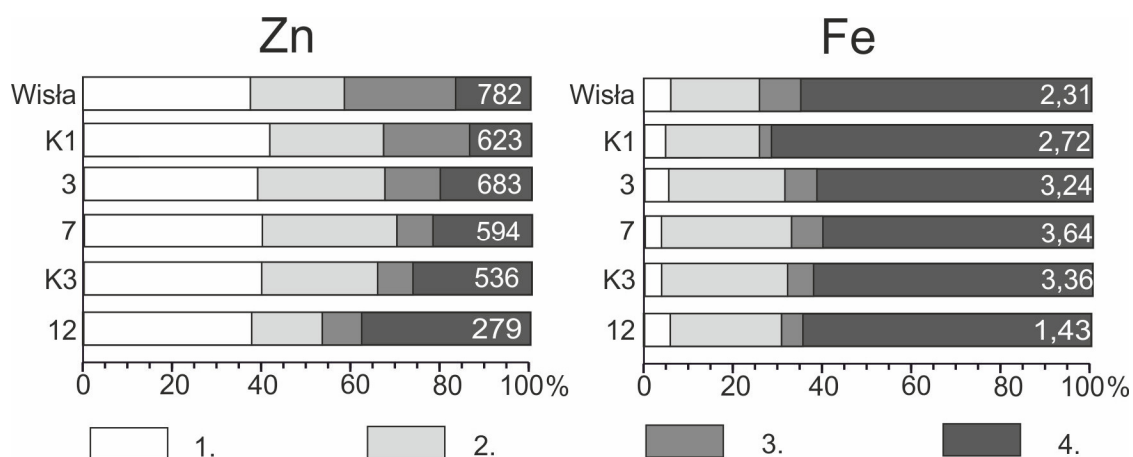
Badane pierwiastki występują w zróżnicowanych formach związania mimo różniących się koncentracji (rys. 3). W osadach Wisły i starorzecza Miejsce zdecydowana większość kadmu występuje w formach łatwo mobilnych: na pozycjach jonowymiennych i związanych z węglanami. Natomiast jedynie niewielka część, kilka procent jest związana z krzemianami. W przeciwieństwie do kadmu miedź, występująca w wartościach zbliżonych do tła geochemicznego, należy, podobnie jak ołów, do stosunkowo silnie związanych, w dużej części z siarczkami i związkami organicznymi, a ilość łatwo przyswajalnych form tych pierwiastków nie przekracza 10%. Znacznie bardziej mobilnym pierwiastkiem jest cynk z około 40% udziałem w związkach łatwo przyswajalnych, podczas gdy podobna jego część, około 40%, występuje w formach niemobilnych w warunkach redukcyjnych. W badanych osadach mangan jest znacznie bardziej mobilny niż żelazo, co jest dość charakterystyczne dla tych pierwiastków przy pH zbliżonym do obojętnego i warunkach redukcyjnych.

Jakkolwiek formy wiązania większości badanych pierwiastków są podobne, to jednak w starorzeczu Krajskie, najbardziej poddanym wpływowi antropogenicznemu, są widoczne prawidłowości ich zmian. Przykładem jest stopniowy wzrost udziału form rezydualnych cynku wraz ze zmniejszaniem się odległości od Wisły, któremu towarzyszy także spadek koncentracji tego pierwiastka (rys. 4). Nietypowo więc zmiany odzwierciedlają konserwatywne zachowanie się cynku, związane z dopływem osadów stosunkowo mało zanieczyszczonych strumieniem Bachówka i Łowiczanka i ich mieszanie się z bardziej mobilnymi związkami cynku pochodzącymi z Wisły. W przeciwieństwie do cynku, żelazo ulega mobilizacji i readsorpcji w osadach, czego wyrazem są zbliżone proporcje jego występowania w tych samych formach mimo znacząco różniących się koncentracji w różnych



Rys. 3. Specjacja badanych metali ciężkich w wybranych osadach dennych Wisły i części starorzecza Miejsce. 1. metale na pozycjach jonowymiennych i związane z węglanami, 2. metale związane z tlenkami Fe i Mn, 3. metale związane z siarczkami i materią organiczną, 4. metale w fazie rezydualnej; koncentracje podane w mg/kg

Fig. 3. Speciation of heavy metals in the selected sediments of the Vistula River and of the oxbow lake Miejsce in geochemical phases: (1) exchangeable and bound to carbonates, (2) reducible, bound to iron and manganese oxides, (3) oxidisable, bound to organic and sulphide compounds 4. residuum; concentrations in mg/kg



Rys. 4. Specjacja Zn i Fe w wybranych osadach dennych Wisły oraz części starorzecza Krajskie zasilanej wodami Wisły. 1. metale na pozycjach jonowymiennych i związane z węglanami, 2. metale związane z tlenkami Fe i Mn, 3. metale związane z siarczkami i materią organiczną, 4. metale w fazie rezydualnej; koncentracje podane w mg/kg

Fig. 4. Speciation of Zn and Fe in the selected sediments of the Vistula River and of the oxbow lake Krajskie supplied with Vistula waters in geochemical phases: (1) exchangeable and bound to carbonates, (2) reducible, bound to iron and manganese oxides, (3) oxidisable, bound to organic and sulphide compounds 4. residuum; concentrations in mg/kg

punktach. Te prawidłowości wskazują na istotne znaczenie sezonowo zróżnicowanego tempa rozkładu materii organicznej oraz formowania się siarczków obserwowane także w innych tego typu zbiornikach (van Griethuysen i in. 2005).

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na zanieczyszczenie wód i osadów starorzecza Wisły w rejonie Spytkowic wskutek dopływów wód Wisły. Sytuacja jest o tyle nietypowa, że wskutek funkcjonowania kanału łączącego Wisłę ze starorzeczem dopływ nie ogranicza się jedynie do dużych powodzi, ale następuje już przy stanach wyższych od przeciętnych. Powoduje to występowanie osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi na 2/3 obszaru starorzecza położonego w strefie międzywała. Natomiast osady w jego części przeciwległej, a także położonej poza wałami są zanieczyszczone tylko w niewielkim stopniu, między innymi dzięki dopływowi czystego strumienia Łowiczanka. Podobnie jest także zróżnicowany skład chemiczny wody z największymi koncentracjami większości badanych związków w części starorzecza położonej w pobliżu dopływu wód z Wisły i ich spadku wraz ze wzrostem odległości od rzeki. Paradoksalnie, obserwowanym efektem powodzi było generalne zmniejszenie się zanieczyszczenia wód starorzecza, prawdopodobnie głównie wskutek dopływu stosunkowo mało zanieczyszczonych wód Wisły w czasie recesji fali powodziowej. W wyniku powodzi natomiast nastąpił jedynie wzrost zawartości związków azotowych i siarczanów, który mógł być częściowo spowodowany ich dostawą strumieniem Bachówka. Można więc podejrzewać, że o ile współcześnie dostawa zanieczyszczonych osadów ma miejsce w czasie powodzi, o tyle dopływ wód zanieczyszczonych zachodzi częściej, bo głównie w czasie stanów mniejszych niż pełnokorytowe. Osady, jakkolwiek zanieczyszczone są metalami w stopniu umiarkowanym, mogą być realnym źródłem zanieczyszczenia kadmem ze względu na duży udział łatwo przyswajalnych form tego pierwiastka, który może kumulować się w żerujących w tych osadach i licznie występujących małżach.

BIBLIOGRAFIA

1. Galbarczyk-Gąsiorowska L., Gąsiorowski M., Szeroczyńska K.: Reconstruction of human influence during the last two centuries on two small oxbow lakes near Warsaw (Poland), *Hydrobiologia*, 2009, 631, 173-183.
2. Glińska-Lewczuk K.: Water quality dynamics of oxbow lakes in young glacial landscape of NE Poland in relation to their hydrological connectivity, *Ecological Engineering*, 2009, 35, 25-37.
3. Kirschner A.K.T., Riegl B., Velimirov B.: Degradation of emergent and submerged macrophytes in an oxbow lake of an embanked backwater system: implications for the terrestrialization process, *Intern. Rev. Hydrobiol.*, 2001, 56, 555-571.
4. Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych ze szczególnym uwzględnieniem obszarów specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000". GIOŚ, Warszawa 2011 <http://www.gios.gov.pl/siedliska/>.
5. Van den Brink, F.W.B., De Leeuw J.P.H.M., Van der Velde G., Verheggen G.M.: Impact of hydrology on the chemistry and phytoplankton development in floodplain lakes along the Lower Rhine and Meuse, *Biogeochemistry*, 1993, 19, 103-128.
6. Van Griethuysen C., Luiwieler M., Joziasse J., Koelmans A.A.: Temporal variation of trace metal geochemistry in floodplain lake sediment to dynamic hydrological conditions, *Environmental Pollution*, 2005, 137, 281-294.
7. Wójcicki K.: The oxbow sedimentary subenvironment: its value in palaeogeographical studies as illustrated by selected fluvial systems in the upper Odra catchment, southern Poland, *Holocene*, 2006, 16, 589-603.

Abstract

The oxbow lake of the Vistula River at Spytkowice is a protected area Natura 2000, 48 km² of surface. It is one of the largest in the upper Vistula valley but is endangered by the inflow of contaminated waters of Vistula and its small tributaries. Investigations of heavy metal content in bottom sediments and chemical content of waters in the oxbow lake indicate marked differences in their quality between part of the oxbow lake situated in the interdyke zone, linked with Vistula itself via artificial channel, and in the part of lake situated outside of

the flood dykes. Bottom sediments in part of the lake affected by the Vistula water inflow are 3 times more contaminated with zinc, lead and cadmium, on average, than that behind flood dykes. However, the metal content in most recent sediments is moderate, a large part of cadmium about 50-70% occur in forms easy available for aquatic organisms and could be accumulated in sediment-feeding mussels. Inflow of Vistula waters is observed at water stages higher than average. It is reflected in multifold increase of chlorides, sulphates, carbonates, phosphates, nitrates, sodium, magnesium, calcium and conductivity. At lower stages chemical composition of water is uniform in the whole lake at levels similar to that, which at normal conditions occur outside flood dykes. Moreover, during flood, diminishing of macroions content in the lake is observed. This could be related to decrease of most chemical substances in the Vistula water during recession of the flood wave.