

ZAWIESINA JAKO ELEMENT ZANIECZYSZCZANIA  
ANTROPOGENICZNEGO EKOSYSTEMU WODNEGO  
NA PRZYKŁADZIE ZBIORNIKA ZAPOROWEGO  
DZIERŻNO DUŻE (WOJ. ŚLĄSKIE)

MACIEJ KOSTECKI

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

Keywords: suspended solids, pollutants budget, dam-reservoirs.

THE SUSPENDED SOLIDS AS A ELEMENT OF POLLUTION  
OF ANTROPOGENIC WATER ECOSYSTEM FOR EXAMPLE  
OF DZIERŻNO DUŻE DAM-RESERVOIR (VOJ. SILESIA)

In a period 1997–2000 concentrations and loads, physical characteristic, chemical compounds of suspended solids on Dzierżno Duże dam-reservoir were investigated. Changes of suspended solids concentration in estuary Kłodnica river was 14 mg/dm<sup>3</sup> to 1600 mg/dm<sup>3</sup>. Year-average was 223 mg/dm<sup>3</sup>. Practically 100% load of allochthonic suspended matter in dam-reservoir is retained.

Load of suspended solids was about 70 Mg/d, incidentally was about 480 Mg/d. Middle load of suspended solids carried in the dam-reservoir during year is about 20 000 Mg. Average concentrations of heavy metals were: 1050 mg Zn/kg, 80 mg Pb/kg, 9 mg Cd/kg, 21 mg Cr/kg, 35 mg Cu/kg, 225 mg Mn/kg, 17 mg Ni/kg, 15 000 mg Fe/kg. Middle total concentration of polycyclic hydrocarbons (summa of 16 pollutants) was 73 mg/kg. About 90% of suspended solids load are sitting-down in bottom sediments after 15 min. The correlation between granulometric and sedimentation of suspended matter, and sedimentation and visibility of Secchi disc is strong. The suspended solids as a source of heavy metals pollution in example chromium, cadmium, cupric, manganese is about 10–24% of total load. In example zinc and iron this factor is about 75%.

Streszczenie

W latach 1998–2000 badano ilość, właściwości fizyczne i skład materii alochtonicznej wnoszonej do zbiornika antropogenicznego Dzierżno Duże (woj. śląskie) przez rzekę Kłodnicę.

Stwierdzono, że stężenie zawiesiny w wodzie rzeki przy ujściu do zbiornika wahało się w granicach od 14 mg/dm<sup>3</sup> s.m. do 1600 mg/dm<sup>3</sup> s.m. Średnia wartość dla 24 miesięcy wyniosła 223 mg/dm<sup>3</sup>. Jak wykazały badania, zbiornik – funkcjonując jako osadnik – zatrzymuje praktycznie 100% zawiesiny alochtonicznej. Wielkość ładunków dobowych suchej masy zawiesiny alochtonicznej wnoszonej do zbiornika wyniosła średnio około 70 Mg/d. W skrajnych, incydental-

nych przypadkach ładunki osiągały wielkość ponad 480 Mg/d. Przeciętny ładunek zawiesin wnoszony do zbiornika w ciągu roku wynosi około 30 000 Mg.

Średnie stężenia metali ciężkich w zawieszynie wynosiły: dla cynku – 1050 mg Zn/kg, dla ołowiu – 80 mg Pb/kg, dla kadmu – 9 mg Cd/kg, dla chromu – 21 mg Cr/kg, dla miedzi – 35 mg Cu/kg, dla manganu – 225 mg Mn/kg, dla niklu – 17 mg Ni/kg, dla żelaza – 15 000 mg Fe/kg.

Ogólna zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA – oznaczano 16 związków) w zawieszynie wnoszonej do zbiornika wynosiła średnio 73 mg/kg. Stężenie WWA w zawieszynie pozostaje w silnej korelacji z ogólnym stężeniem zawiesin, wskazując na ich antropogenne pochodzenie.

Badania opadalności zawiesiny wykazały, że około 90% stanowi zawiesina opadająca w czasie 15 minut. Zasięg wnoszenia zawiesiny w strefie przyujściowej zbiornika określono na około 500–700 m. Prawie cały ładunek WWA przechodzi do osadów dennych na tym odcinku zbiornika. Także zmiany przezroczystości wody w strefie przyujściowej wskazują na wyraźne powiązanie z opadalnością zawiesiny. Ładunki metali ciężkich, takich jak: chrom, kadm, miedź, mangan, ołów, zawarte w zawieszinach stanowią od 10% (Pb) do 24% (Cd) całkowitego ładunku wnoszonego do zbiornika. W przypadku cynku i żelaza ładunki zawarte w zawieszinach stanowią około 75% ładunku całkowitego.

## WPROWADZENIE

Zbiorniki antropogeniczne Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego mają własną, odrębną specyfikę, wynikającą zarówno z funkcji, jaką przyszło im spełniać (gromadzenie wody, retencja wód powodziowych, funkcja przyrodnicza, rekreacja), jak i z charakteru ich zlewni, silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych, podlegających ciągłym przeobrażeniom powierzchni ziemi, a także ze względu na rodzaj i intensywność gospodarki.

W latach 1993–2000 prowadzono kompleksowe badania limnologiczne antropogenicznych zbiorników wodnych Zachodniego Węzła Wodnego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (zwanego też Hydrowęzłem rzeki Kłodnicy), tj. zbiorników: Pławniowice, Dzierżno Małe i Dzierżno Duże [10–16, 33–36].

Znaczenie gospodarcze tych zbiorników oraz niezwykle silne oddziaływanie elementów antropopresji (rolnictwo, przemysł, transport, ścieki komunalne, rekreacja) wskazują na celowość poznania nie tylko ich aktualnego stanu, stopnia zanieczyszczenia, ale przede wszystkim sposobu ich funkcjonowania oraz wydolności procesów samooczyszczania. Należy podkreślić, że zbiorniki te są końcowymi elementami systemów wodnych cieków: Potok Toszecki (zbiornik Pławniowice), rzeka Drama (zbiornik Dzierżno Małe), rzeka Kłodnica (zbiornik Dzierżno Duże). Z uwagi na cechy morfologiczne i morfometryczne, a także ze względu na specyfikę i wielkość zanieczyszczenia cieków zasilających, zbiorniki te są swoistymi oczyszczalniami rzecznyymi. Wpływają one w sposób istotny na jakość wody, co nabiera szczególnego znaczenia w aspekcie oddziaływania obszaru GOP-u na jakość wody rzeki Odry.

Zawiesiny zarówno pochodzenia erozyjnego, jak i pochodzące z odprowadzanych do wód różnego rodzaju ścieków, w każdym przypadku oddziałują niekorzystnie na ekosystem [1–4, 6, 17–19, 22]. Skutki tego oddziaływania to zamulanie koryta cieku, stopniowe wypełnianie misy zbiornika, a także kon-

sekwencje wynikające z doprowadzania do ekosystemu substancji mineralnych, jak gleba, piasek, oraz toksycznych (metale ciężkie, węglowodory).

Innego rodzaju materiał wynosi ze zlewni i niesie w stronę zbiornika rzeka góraska na terenie zlewni, gdzie nie ma przemysłu oraz wielkich miast, a innego rodzaju zawiesiny występują w rzece przepływającej przez silnie uprzemysłowiony i zurbanizowany obszar GOP-u. Szczególne znaczenie przypisuje się roli spływów wód opadowych powodujących, podczas splukiwania przez deszcz szczylnych powierzchni dróg i ulic miejskich, powstawanie tzw. ścieków opadowych [2, 7, 22, 28, 37].

Ścieki opadowe wprowadzają do środowiska duże ilości węglowodorów. Pochodzą one z wymywania przez opady atmosferyczne (rosa, mgła, deszcz, śnieg) zanieczyszczeń powietrza (spalanie węgla, benzyn). Transport drogowy także dostarcza do ścieków opadowych węglowodory w postaci cząstek zużytych opon, olejów, smarów itp. [2, 22, 24, 28, 32, 37]. Związki te są na ogół trudno rozpuszczalne w wodzie, wykazują natomiast silne powinowactwo z zawiesiną o charakterze organicznym, wraz z którą, po zaadsorbowaniu się na jej powierzchni, opadają na dno, wchodząc w skład osadów dennych. Jako związki w niektórych przypadkach mutagenne i kancerogenne po przedostaniu się do środowiska, zanim ulegną rozkładowi, mogą oddziaływać szkodliwie – zwłaszcza na organizmy wyższe [7, 9, 22, 23, 26].

Z tych samych źródeł oraz ze ścieków przemysłowych do wód przedostają się związki metali ciężkich. Substancje te, osiadając jako zawiesiny na dnie zbiornika, współuczestniczą w tworzeniu osadów dennych, a jednocześnie wpływają – przez oddziaływanie toksyczne, inhibitujące niektóre procesy biologiczne – na ich specyfikę, kształtując warunki bytowania zespołów organizmów (bakterii, organizmów bentosowych) zasiedlających osady [12, 16].

W zbiorniku wodnym obciążonym ładunkami zanieczyszczeń, wnoszonymi jako zawiesiny alochtoniczne i osiadającymi na dnie, obserwowane są procesy samooczyszczania [8, 12, 16, 24, 25]. Zawiesiny osiadając tworzą osady. Nadmiar zanieczyszczeń odkładany jest w osadach dennych. Wytwarzają się zespoły organizmów zdolnych do bytowania w określonych warunkach. Zwłaszcza mikroorganizmy w wyniku procesu adaptacji mogą przystosowywać się do wykorzystywania i rozkładania niektórych z wprowadzanych do ekosystemu substancji toksycznych, m.in. fenoli i węglowodorów [7, 9, 21, 23, 26, 32].

## CEL BADAŃ

Celem prowadzonych badań było określenie roli zawiesin alochtonicznych w procesie zanieczyszczenia antropogenicznego zbiornika wodnego Dzierżno Duże, zarówno w aspekcie masy wnoszonej do zbiornika, jak i w odniesieniu do zawartych w zawiesinach zanieczyszczeń.

## ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Stężenie zawiesin w wodach powierzchniowych jest wskaźnikiem oznaczanym podczas rutynowych badań hydrochemicznych [6, 8, 10, 27]. W większości przypadków jednak badania dotyczą stężeń i ładunków, a wnioski wyciągane na podstawie wyników analiz ograniczają się do stwierdzenia zgodności stężeń z określonymi normami. Wiele prac dotyczy ogólnego bilansu zawiesin jako czynnika zmniejszającego pojemność koryt cieków lub mis zbiorników wodnych [17–20, 25]. Często badania stężeń i bilansu ogólnego zawiesin dotyczą stanów wezbrań powodziowych, podczas których ładunki są szczególnie wysokie [8, 20, 27].

Trudności z określeniem stężeń i ładunków pierwiastków oraz substancji wchodzących w skład zawiesiny wynikają z zakresu stężeń zawiesin w wodach powierzchniowych, który dla wód mało i średnio zanieczyszczonych (poza okresami wezbrań powodziowych) wynosi około 5–30 mg/dm<sup>3</sup>, a zatem zachodzą trudności z pozyskaniem ilości materiału doświadczalnego wystarczającej do wykonania analiz fizycznych oraz chemicznych. Z punktu widzenia żywotności zbiornika oraz możliwości wykorzystywania jego zasobów wodnych, istotne jest rozpoznanie ilości i charakteru oraz zanieczyszczenia wnoszonych doń zawiesin. Dotyczy to zwłaszcza zbiorników antropogenicznych, usytuowanych na terenach silnie uprzemysłowionych oraz zasilanych wodami zanieczyszczonych rzek.

Rzeka Kłodnica zasilająca zbiornik Dzierżno Duże doprowadza doń spływy powierzchniowe ze zlewni o powierzchni w przekroju ujścia do zbiornika wynoszącej 539 km<sup>2</sup>. Zlewnia ta obejmuje prawie cały obszar GOP-u i należy do najbardziej zaludnionych oraz najsilniej uprzemysłowionych regionów Polski. Stopień oczyszczenia ścieków w województwie śląskim wynosi około 40%. W odniesieniu do tzw. ścieków opadowych powstających w wyniku spłukiwania zanieczyszczeń z dróg i ulic terenów miejskich, a cechujących się stosunkowo wysokimi stężeniami niektórych zanieczyszczeń, w tym zawiesin, wskaźnik ten jest jeszcze niższy. W latach 1998–1999 prowadzono badania ilościowe stężeń zawiesin w wodzie rzeki Kłodnicy na stanowisku pomiarowym usytuowanym na tzw. Kaskadzie Kłodnicy, tj. w punkcie jej wlotu do zbiornika. Na przełomie lat 1999 i 2000 rozpoczęto badania jakościowe.

W celu uzyskania dostatecznej ilości materiału doświadczalnego, umożliwiającej wykonanie analiz, pobierano w okresie od listopada 1999 do lutego 2000 roku w odstępach 14-dniowych próby wody o objętości 25 dm<sup>3</sup>. Zawiesiny dekantowano oraz przesączano ilościowo przez twardy sączek.

Oznaczano: opadalność zawiesin, skład granulometryczny, udział części lotnych i stałych, zawartość metali ciężkich, fenoli oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

Opadalność zawiesin oznaczano metodą wagową. Skład granulometryczny badano metodą laserową w aparacie firmy Fritsch. Ogólną ilość metali ciężkich oznaczano metodą absorpcji atomowej (ASA). Oznaczenie metali ciężkich

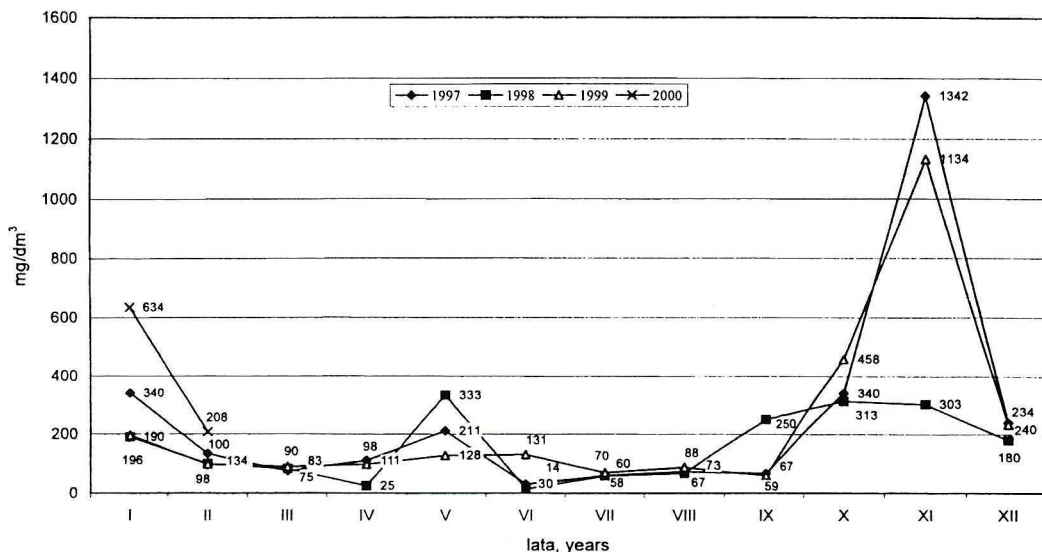
wykonywano w ogólnej ilości zawiesin, a także w poszczególnych frakcjach zawiesin wydzielonych podczas pomiaru opadalności. Zawartość węglowodórów i fenoli oznaczano metodą chromatografii gazowej. Oznaczenia wykonywano zgodnie z obowiązującymi normami.

## WYNIKI

### STĘŻENIE ZAWIESIN

W latach 1997–1999 stężenie zawiesin w wodzie dopływającej do zbiornika zmieniało się w granicach od 14 mg/dm<sup>3</sup> do 1342 mg/dm<sup>3</sup>. Przebieg zmian przedstawiono na rysunku 1. Jak widać, najwyższe wartości stężeń zawiesin stwierdzono dwukrotnie w listopadzie w 1997 i 1999 roku, kiedy wynosiło ono odpowiednio 1342 mg/dm<sup>3</sup> i 1134 mg/dm<sup>3</sup>. Także w styczniu 2000 roku zanotowano wysokie stężenie zawiesiny wynoszące 634 mg/dm<sup>3</sup>. Najniższe stężenia zawiesin obserwowano, we wszystkich trzech latach, w okresie od marca do sierpnia. Zakres zmian w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 1.

Analiza udziału części stałych i lotnych pozwoliła stwierdzić, że pod względem tych wskaźników skład zawiesin jest wyraźnie ustabilizowany. Udział części stałych zmieniał się w granicach od 37 do 53%, a części lotnych od 47 do 63%. Średni udział tych frakcji wynosił (dla okresu wykonywania pomiarów) odpowiednio 40 i 60%. (Tab. 2).



Rys. 1. Stężenie zawiesin w wodzie rzeki Kłodnicy  
The concentration of allochthonic suspended solids in Kłodnica river

Tabela 1. Zakres zmian stężeń zawiesiny w wodzie rzeki Kłodnicy (ujście do zbiornika Dzierżno Duże)

Range of changes suspended solids concentration in the Kłodnica river (estuary on Dzierżno Duże dam-reservoir)

Rok Year	Min. [mg/dm <sup>3</sup> ]	Max [mg/dm <sup>3</sup> ]	Średnia [mg/dm <sup>3</sup> ] average
1997	30	1342	252
1998	14	313	187
1999	70	1134	232

Tabela 2. Stężenie części lotnych i stałych oraz ich udział w ogólnej ilości zawiesiny w wodzie rzeki Kłodnicy (ujście do zbiornika Dzierżno Duże)

Concentration of volatile and solids parts of total suspended solids in Kłodnica river (estuary on Dzierżno Duże dam-reservoir)

Wskaźnik Indicator	30.11.99	14.12.99	28.12.99	05.01.00	18.01.00	28.01.00	09.02.00	Średnia
zaw. ogólna total susp. solids [mg/dm <sup>3</sup> ]	1134	234	153	196	634	208	118	382
części stałe solid parts [mg/dm <sup>3</sup> ]	530	102	62	69	270	126	40	171
części lotne vol. parts [mg/dm <sup>3</sup> ]	604	132	91	127	364	82	78	211
% części stałych % solid parts	46,7	43,6	40,5	35,2	42,6	39	34	40
% części lotnych % vol. parts	53,3	56,4	59,5	64,8	57,4	66	66	60

#### WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE

Ogólna zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w zawieszynie wnoszonej do zbiornika (wyrażona jako suma 16 oznaczonych substancji) zmieniała się w granicach od 20 do 147 mg/kg (Tab. 3). Zmiany stężeń poszczególnych węglowodorów także zachodziły w szerokich zakresach. W zmianach stężeń oraz udziałów poszczególnych węglowodorów nie stwierdzono określonej tendencji ani prawidłowości zmian. Stężenie benzo(a)pirenu, substancji o silnych własnościach kancerogennych, wynosiło od 0,02712 do 2,4499 mg/kg, a jego udział w całkowitej zawartości WWA w zawieszynie zmieniał się od 0,18 do 5,78%. Średnia wartość stężenia wynosząca 0,858 mg/kg oraz odpowiadający tej wartości udział 1,88% są zbliżone do udziału tego związku w ogólnej ilości WWA w glebach zanieczyszczonych w wyniku oddziaływania przemysłu [20–22].

Tabela 3. Zawartość wielopierscieniowych węglowodorów aromatycznych w zawieszinie alochtonicznej [mg/kg] wnoszonej do zbiornika Dzierżno Duże z wodą rzeki Kłodnicy

Concentration of polycyclic hydrocarbons in suspended solids of Kłodnica river (estuary on Dzierżno Duże dam-reservoir)

Nazwa związku	15.09.99		30.11.99		14.12.99		05.01.2000	
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
Naftalen	0,3971	0,93	3,2012	2,17	0,1213	0,59	0,1245	0,15
Acenaftylen	0,5846	1,38	3,6361	2,47	1,1978	5,90	3,6816	4,45
Acenaften	0,5816	1,37	13,9108	9,45	0,1051	0,51	0,1406	0,17
Fluoren	0,1789	0,42	19,1959	13,05	3,8643	19,03	9,6792	11,74
Fenantren	0,0712	0,17	34,0249	23,13	4,2358	20,86	6,4205	7,78
Antracen	0,2816	0,66	8,2554	5,61	0,6430	3,16	2,1408	2,60
Fluoranten	1,3302	3,14	26,0328	17,70	1,4103	6,94	19,5368	23,70
Piren	11,050	26,1	19,7224	13,41	0,4666	2,30	6,6527	8,07
Chryzen	11,3600	26,8	9,6567	6,56	0,5599	2,75	7,8118	9,47
Benzo(a)antracen	n.w.	n.w.	2,1007	1,43	n.w.	n.w.	8,3193	10,09
Benzo(b+k)fluoranten	13,860	32,75	0,3987	2,71	n.w.	n.w.	0,5230	0,63
Benzo(a)piren	2,4499	5,78	0,02712	0,18	0,1096	0,54	0,8445	1,02
Benzo(g,h,i)perylene	n.o.	n.o.	0,04961	0,33	6,920	34,08	9,1280	11,07
Dibenzo(a,h)antracen + + Indeno(1,2,3-cd)piren	0,1715	0,4	0,02615	0,17	0,6672	3,28	7,4526	9,04
Suma – Total	42,315	100	147,076	100	20,3009	100	82,4559	100
Średnio	73,0375							

## FENOLE

Zawartość fenolu oraz jego alkilopochodnych w zawieszinach alochtonicznych oznaczono trzykrotnie. Uzyskane wyniki pozwoliły na zorientowanie się w zakresie stężeń oznaczonych substancji, które mogą stanowić źródło węgla organicznego.

W poszczególnych próbach zawiesiny suma oznaczonych fenoli wynosiła od 50 do 280  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Tab. 4). Stężenia poszczególnych związków chemicznych wykazywały zmienność bez zauważalnych prawidłowości czy tendencji zmian.

## METALE CIĘŻKIE

W okresie od sierpnia do grudnia 1999 roku pięciokrotnie wykonano analizy zawartości wybranych metali ciężkich w zawieszinach wnoszonych do zbiornika z wodą rzeki Kłodnicy. Wyniki analiz stężeń tych metali przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 4. Zawartość fenolu i jego alkilopochodnych w zawiesinach wprowadzanych do zbiornika Dzierżno Duże przez rzekę Kłodnicę

The phenol and alkylophenols concentrations in suspended solids carried into Dzierżno Duże dam-reservoir by Kłodnica river

Wskaźnik [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] Indicator	30.11.99	14.12.99	05.01.00
Phenol	25,30	130,21	26,26
2,4-dimetylophenol	44,85	39,30	6,11
3,5-dimetylophenol	162,98	n.w.	3,61
2,3-dimetylophenol	25,75	10,00	n.w.
3,4-dimetylophenol	6,64	51,80	1,42
2,4,6-trimetylophenol	4,64	n.w.	8,93
2,3,6-trimetylophenol	8,43	10,97	4,04
Suma – Total	278,59	242,28	50,37

Tab 5. Średnia zawartość metali ciężkich [ $\text{mg}/\text{kg}$  s.m.] w zawieszynie w wodzie rzeki Kłodnicy  
Middle concentration of heavy metals in the suspended solids of Kłodnica river

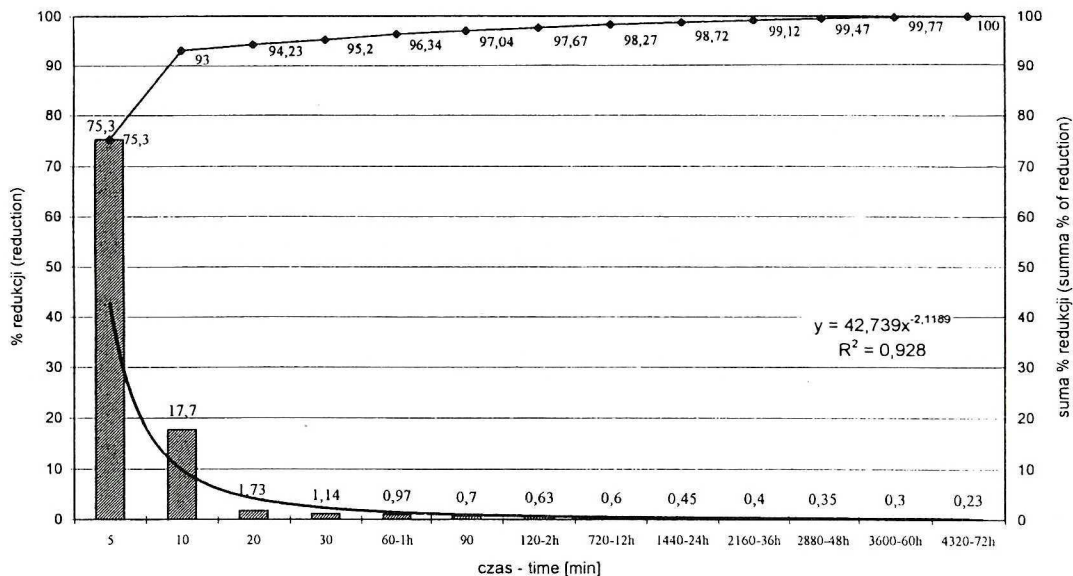
Data Date	Zn [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Pb [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Cd [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Cr [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Cu [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Mn [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Ni [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]	Fe [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]
VIII.99	990,0	85,20	10,22	17,0	31,50	248,0	17,60	14589
IX.99	1100,0	84,25	8,15	22,0	33,80	246,0	16,90	18887
X.99	1232,0	87,00	11,90	25,0	34,00	264,0	18,64	15345
XI.99	860,0	71,00	11,76	20,0	15,60	220,0	14,40	12492
XII.99	1190,0	86,50	8,15	23,0	55,00	262,0	17,80	18450
I.00	1298,03	88,67	5,665	60,34	113,30	258,62	61,58	30456
II.00	283,42	25,99	3,094	32,18	63,12	254,95	53,22	13639
Średnia	993,34	75,51	8,41	28,50	49,47	250,51	28,58	17694

#### OPADALNOŚĆ ZAWIESIN

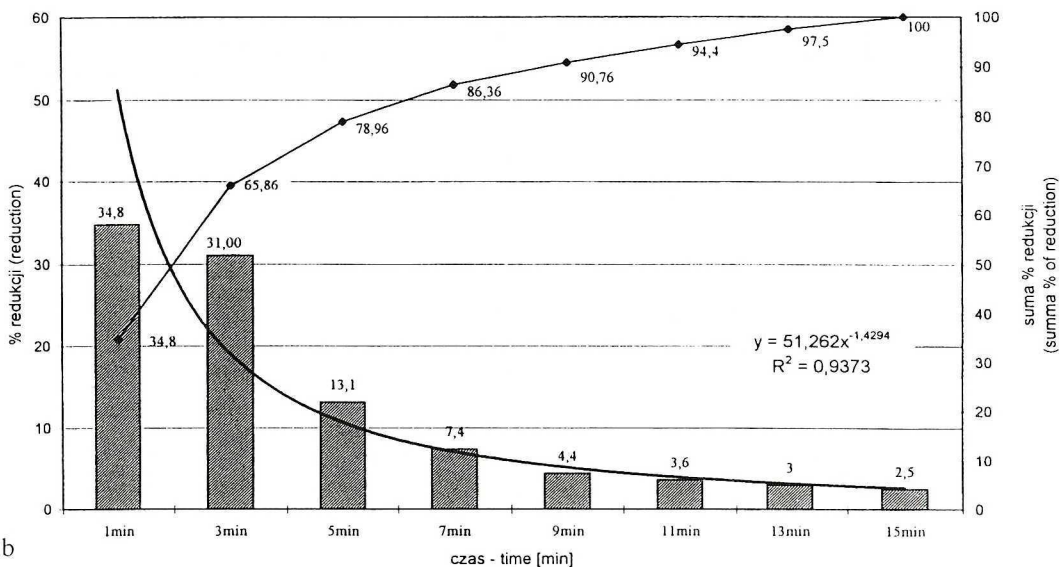
W trakcie pomiaru opadalności zawiesin metodą objętościową stwierdzono, że osiadająca zawiesina zagęszcza się pod własnym ciężarem, co wykluczyło zastosowanie tej metody. Wyniki pomiarów uzyskano metodą wagową przy użyciu leja Spilnera (Rys. 2a). Jak widać, już po 5 minutach usunięcie zawiesin z wody wyniosło ponad 75%. Po kolejnych 5 minutach redukcja stężenia zawiesin wynosiła dalsze 18%. Praktycznie po 20 minutach około 95% zawiesin osiadało na dnie.

Kolejne pomiary opadalności zawiesin wykonano w mniejszych przedziałach czasu (Rys. 2b). Pomiary wykonywane co 2 minuty wykazały, że udział pierwszej części – opadającej po 1,5 minuty – wynosi 34,8%. Udział





a



b

Rys. 2. Opadalność zawiesin alochtonicznych w zbiorniku Dzierżno Duże  
Sedimentation of allochthonic suspended solids in Dzierżno Duże dam-reservoir

frakcji opadającej po 3 minutach wynosi 31%, frakcji opadającej zaś po 5 minutach 13,1%. Łączny udział tych frakcji wyniósł około 78%. Jest to wynik bardzo zbliżony do uzyskanego w seriach pomiarowych, w których pomiary

wykonywano co 5 minut (75,3%). Pomiary wykonywane w odstępach 2 minut wykazały także, że po 15–20 minutach praktycznie cały ładunek zawieszin opada na dno.

#### BILANS ZANIECZYSZCZEŃ

Sporządzenie bilansu uwzględniającego wielkość ładunków doprowadzanych i odprowadzanych ze zbiornika pozwala określić intensywność, wydajność i kierunek procesów samooczyszczania, w tym procesów sedimentacji zawieszin oraz wprowadzanych wraz z nimi zanieczyszczeń [11, 29–32].

Na podstawie średniorocznych przepływów dobowych oraz średniorocznych wartości stężeń zawieszin sporządzono szacunkowy bilans zanieczyszczeń wnoszonych tą drogą do zbiornika – dla okresu 1997–1999 (Tab. 6).

Tabela 6. Szacunkowe wielkości ładunków zanieczyszczeń wnoszonych do zbiornika Dzierżno Duże z zawiesiną w wodzie rzeki Kłodnicy

Assess loads of pollutants carried in to the Dzierżno Duże dam-reservoir as suspended solids by Kłodnica river

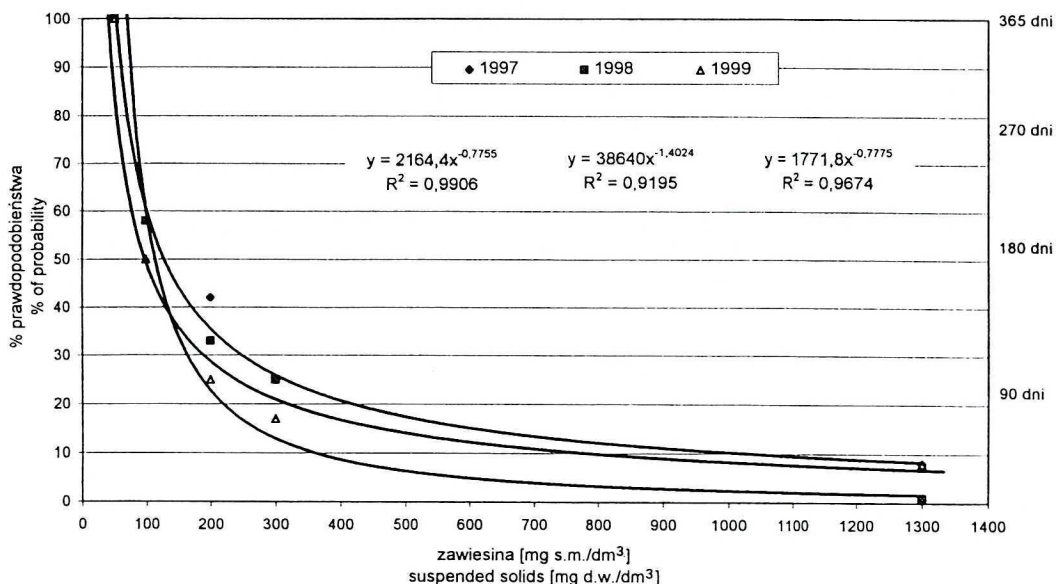
	Lata – Years							
	1997		1998		1999		Średnia – Middle 1995–1999	
Q – m <sup>3</sup> /s	6,53		3,1		2,42		4,46	
Z – mg/kg	252		187		232		223	
Zawiesina (Susp. solids.)	kg/d	Mg/r	kg/d	Mg/r	kg/d	Mg/r	kg/d	Mg/r
	142000	51800	50000	18200	48000	17500	86000	31400
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – Polycyclic hydrocarbons								
WWA (PCB)	10,32	3,78	3,61	1,32	3,44	1,27	6,20	2,27
Metale ciężkie – Heavy metals								
Zn	145,0	53,0	51,0	18,6	49,0	18,0	88,5	32,3
Pb	11,5	4,2	4,4	1,6	3,8	1,4	6,9	2,5
Cd	1,4	0,5	0,5	0,2	0,5	0,17	0,8	0,30
Cr	3,0	1,1	1,0	0,4	1,0	0,38	1,9	0,7
Cu	5,0	1,8	1,8	0,65	1,7	0,62	3,0	1,1
Mn	3,5	13,0	12,5	4,6	11,8	4,3	21,0	7,7
Ni	2,5	0,9	0,85	0,31	0,8	0,29	1,3	0,5
Fe	2190,0	800,0	772,0	282,0	740,0	271,0	1131,0	486,0

#### OMÓWIENIE WYNIKÓW

Stężenia zawieszin alochtonicznych wnoszonych do zbiornika z wodami rzeki Kłodnicy stwierdzone w okresie prowadzenia badań były znacznie wyższe aniżeli w ciekach zasilających sąsiednie zbiorniki i wskazują na ich antro-

pogeniczny charakter. W wodzie Potoku Toszeckiego zasilającego zbiornik Pławniowice średnioroczne stężenie zawiesin dla lat 1996–1998 wynosiło  $34 \text{ mg/dm}^3$ , w wodzie rzeki Dramy, zasilającej zbiornik Dzierżno Duże, wartość tego wskaźnika w roku 1998 wynosiła  $39 \text{ mg/dm}^3$ , natomiast w wodzie rzeki Kłodnicy dla lat 1997–1999 aż  $223 \text{ mg/dm}^3$ .

Przedstawione na rysunku 3 prawdopodobieństwo występowania stężeń zawiesin wskazuje, że wartości stężeń wynoszące około  $100 \text{ mg/dm}^3$  występują w ponad 50% dni roku. Bardzo wysokie wartości stężeń obserwowano w miesiącach jesienno-zimowych. Stężenie zawiesin ponad  $1300 \text{ mg/dm}^3$  stwierdzono dwa razy, w listopadzie 1997 oraz w listopadzie 1999 r. Podczas poboru prób w styczniu 1998 oraz w styczniu 2000 r. stężenie zawiesiny było także bardzo wysokie i wynosiło odpowiednio  $540$  oraz  $634 \text{ mg/dm}^3$ . Tendencja spadkowa stężenia zawiesiny utrzymywała się do końca maja 1998 r. W okresie od kwietnia do sierpnia, we wszystkich trzech latach, stężenia zawiesin były niższe aniżeli w okresach jesienno-zimowych i wynosiły od  $14$  do  $40 \text{ mg/dm}^3$ .



Rys. 3. Prawdopodobieństwo wystąpienia stężeń zawiesin w wodzie rzeki Kłodnicy (ujście do zbiornika Dzierżno Duże)

The probability of appearance suspended solids concentrations in the Kłodnica river

Z zagadnieniem transportu zanieczyszczeń do zbiornika, a następnie wzdłuż jego osi, zgodnego z kierunkiem przepływu wody wiąże się zespół elementów składających się na morfologiczne i morfometryczne uwarunkowania. Kształt misy zbiornika może w sposób istotny wpływać na procesy przebiegające w zbiorniku, przede wszystkim na proces sedymentacji zawiesin [12, 15, 16].

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na rezultat współdziałania dwóch charakterystycznych cech zbiorników zaporowych: zmienność poziomu wody

oraz asymetrię głębokości [33–36]. Wahania poziomu wody powodują odsłanianie znacznych powierzchni dna. Ponieważ część zbiornika (w pobliżu uchodzącej do niego rzeki) jest płytka, odsłanianie powierzchni dna w tej części zbiornika są znacznie większe aniżeli w części przyzaporowej. Wskutek tego następuje przemieszczanie się rzeczywistego usytuowania ujścia rzeki do zbiornika.

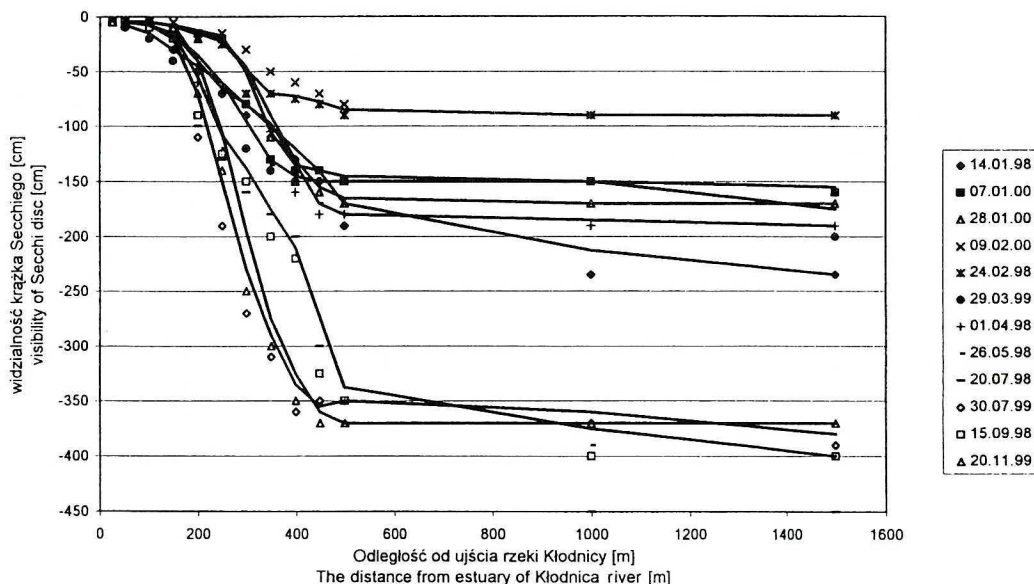
W przypadku zbiornika Dzierżno Duże obserwowano wahania poziomu wody wynoszące około 3 m, wskutek czego przy niskim stanie wody ujście rzeki Kłodnicy do zbiornika oddalone jest o około 400 m od miejsca ujścia rzeki przy stanach normalnych. W rezultacie zmian stopnia wypełnienia zbiornika wynikającego z gospodarki wodnej, zmienia się zatem miejsce zrzutu zawieszin, a tym samym zasięg wnoszenia ich do zbiornika. Miejsce to przesuwają się podczas obniżania poziomu wody w kierunku dalszych partii zbiornika, cofa się natomiast przy podwyższeniu poziomu wody. Jednocześnie w wyniku wieloletniego kształtowania dna (nanoszenie zawieszin powodujące powstawanie rozlewisk) wraz ze zmianą poziomu wody zmienia się kierunek jej wpływanina do zbiornika. Czynniki te powodują, że powstaje swoisty „mechanizm rozpraszania” zawieszin. W przypadku badanego zbiornika wahania poziomu wody wraz z opisaną wyżej opadalnością zawieszin powodują, że zasięg zawieszin wprowadzanych do tej strefy zbiornika wynosi około 700 m od aktualnego miejsca ujścia rzeki Kłodnicy – wzdłuż jego osi.

Zasięg wnoszonych do zbiornika zawieszin określa położenie strefy najszybszego wzrostu przezroczystości wody. Zawieszina, osadzając się w zbiorniku, na odcinku pierwszych kilkuset metrów tworzy specyficznie zanieczyszczone osady denne. W tej części zbiornika zachodzą intensywne procesy beztlenowe, którym towarzyszy wydzielanie dużych ilości biogazu powstającego w wyniku fermentacji metanowej, osiadających na dnie zanieczyszczeń organicznych.

W strefie przyujściowej rzeki Kłodnicy do zbiornika przezroczystość wody kształtuje się w charakterystyczny sposób (Rys. 4). Jak widać, widzialność krążka Secchiego ustala się na maksymalnych wartościach w odległości około 500–700 m od ujścia rzeki. Widoczny jest także odcinek, bezpośrednio przy ujściu rzeki do zbiornika, na którym przezroczystość wody jest praktycznie zerowa ( $W = 4$  cm).

Rzeka Kłodnica wnosi do zbiornika duże ładunki zawiesziny. Szacowane w skali wielolecia ładunki dobowe wynoszą przeciętnie 50 Mg w latach suchych oraz ponad 80 Mg w latach normalnych. W skali roku daje to ładunek rzędu 20 tys. Mg w latach suchych oraz ponad 30 tys. Mg w latach przeciętnych. Przyjmując wskaźnik  $1,8 \text{ Mg/m}^3$  uzyskano objętość około 11 tys.  $\text{m}^3$  deponowaną w zbiorniku w ciągu roku. Dla około 30 lat eksploatacji zbiornika wskaźnik ten wynosi ponad 350 tys.  $\text{m}^3$ , co odpowiada ładunkowi około 700 tys. ton. Stanowi to 0,37% całkowitej pojemności zbiornika wynoszącej 95 mln  $\text{m}^3$ .

Gdyby zawieszina opadała równomiernie na całą powierzchnię dna zbiornika (tak jak w jeziorach naturalnych), to w wyniku doprowadzenia takiej



Rys. 4. Zmiany widzialności krążka Secchiego w zbiorniku Dzierżno Duże (1998 – 2000)  
Changes of visibility Secchi disc in Dzierżno Duże dam-reservoir

ilości ładunku warstwa osadu wyniosłaby 60 mm (przyjmując, że powierzchnia dna zbiornika wynosi około 600 ha). Jednakże w związku z tym, że wnoszone zawiesiny opadają w 98% na dno po około 30 minutach, a ponadto wskutek przemieszczania się ujścia rzeki w dół zbiornika ładunek deponowany jest praktycznie w górnej, przyujściowej części zbiornika (o powierzchni około 70 ha), gdzie warstwa osadów alochtonicznych może dochodzić nawet do 0,5 m. Taką właśnie grubość warstwy osadów dennych określono zarówno czerpaczem Klekowskiego w czasie pobierania prób osadów dennych [12, 16], jak i echosondą ultradźwiękową.

Zanieczyszczenie środowiska wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi ma charakter powszechny [20–24]. Wprowadzane do zbiorników antropogenicznych alifatyczne oraz aromatyczne węglowodory ograniczają możliwości biotyczne oraz możliwości wykorzystywania zasobów wodnych tych zbiorników. Ilość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w zawiesinach wprowadzanych do zbiornika Dzierżno Duże przez rzekę Kłodnicę jest wysoka. Wielkości stężeń oraz ich duża zmienność wskazują na pochodzenie tych zanieczyszczeń ze źródeł przemysłowych i ze ścieków opadowych.

Maliszewska i in. [21] podaje sześć poziomów zawartości WWA w glebach (sześć klas), dla których górne granice wynoszą: 0,2, 0,6, 1,0, 3,0 i 10,0 mg/kg. Z kolei Bachmann i in. [4, 26] określają wartość stężenia WWA w glebach wynoszącą 3,0 mg/kg jako „wartość ostrożną”, powyżej której może dochodzić do niekorzystnych zmian wpływających na naturalne funkcjonowanie gleb i na zdrowie ludzi.

Stężenia WWA stwierdzone w zawieszinie wnoszonej do zbiornika Dzierżno Duże odpowiadają ilościom określanym jako charakterystyczne dla gleb silnie skażonych. Najwyższe normy dopuszczalne dla gleb skażonych antropogenicznie (10 mg/kg) przekroczone są ponad 3-krotnie [21]. Jakkolwiek niesione z wodą rzeki zawiesiny nie są glebą, jednakże ze względu na ich rolę w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego, a zwłaszcza w formowaniu osadów dennych, stosowanie powyższych kryteriów w celach porównawczych uznano za dopuszczalne.

W latach 1997–1998, prowadząc badania limnologiczne zbiornika Dzierżno Duże, zgromadzono w ciągu 25 poborów prób dane o stężeniach wybranych metali ciężkich w wodzie rzeki Kłodnicy. Dysponując odpowiednim materiałem doświadczalnym zawiesin, porównano stężenia metali ciężkich występujących w wodzie rzeki Kłodnicy ze stężeniami metali, zawartymi w zawiesinach alochtonicznych wnoszonych do zbiornika z wodami tej rzeki (po przeliczeniu stężeń z mg/kg na mg/dm<sup>3</sup>).

Stwierdzono, że w wodach rzeki Kłodnicy, w przekroju jej ujścia do zbiornika Dzierżno Duże, w przypadku takich metali ciężkich, jak: chrom, kadm, miedź, ołów i mangan udział form związanych w zawieszinie wynosił odpowiednio od 25 do 10% ładunku całkowitego (Tab. 7). Około 76–90% ładunku tych metali wpływa do zbiornika jako formy rozpuszczone. Odwrotnie układały się stężenia oraz udziały w przypadku żelaza i cynku, których około 75% ładunku wprowadzonych zostało w postaci form nierozpuszczalnych. Potwierdza to obserwacje Wilsona [31] i Bojanowskiego [5]. Powyższe zestawienie wskazuje, że w przypadku chromu, kadmu, miedzi, ołowiu i manganu rola zawiesin jako formy dostarczania ładunków do zbiornika jest wyraźnie mniejsza niż w przypadku żelaza i cynku, zwłaszcza do tej jego części, w której następuje ich osiadanie.

Tabela 7. Porównanie stężeń metali ciężkich w wodzie oraz zawiesinach wprowadzanych do zbiornika Dzierżno Duże przez rzekę Kłodnicę

Concentration confrontation of dissolved and suspended heavy metals concentration, carried into Dzierżno Duże dam-reservoir by Kłodnica river

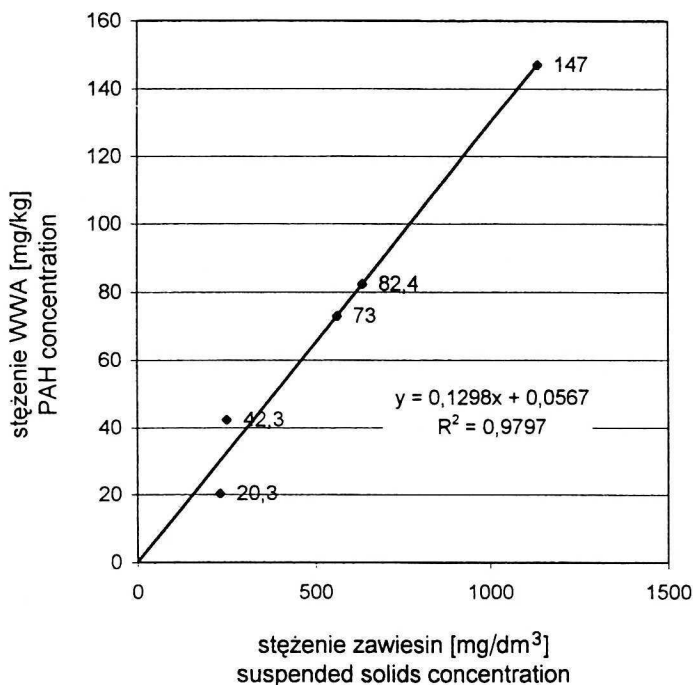
Wskaźnik Indicator	Stężenie średnie w wodzie rz. Kłodnicy Middle conc. in Kłodnica river water	Stężenie średnie w zawiesinach Middle conc. in suspended solids	Całkowite średnie stężenie Total middle concentration	Udział części rozpuszczonej Participation of dissolved parts	Udział części w zawiesinach Participation of suspend. parts
	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
Cr	0,038	0,0049	0,042	90	10
Cd	0,0094	0,00236	0,0118	76	24
Cu	0,053	0,00826	0,0613	86	14
Pb	0,193	0,0188	0,212	90	10
Mn	0,44	0,059	0,499	88	12
Zn	1,255	3,65	4,90	25	75
Fe	0,085	0,24	0,325	26	74

Średnioroczne ładunki wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wnoszone wraz z zawiesiną w latach suchych oszacowano na około 3–10 kg/d. W skali rocznej ładunki te wynoszą około 1300 – 3780 kg. Jak wykazały badania zawartości WWA w osadach dennych zbiornika [12, 16], substancje te osiadają wraz z zawiesiną w górnej części zbiornika. Obserwowane intensywne wydzielanie biogazu z osadów dennych w pobliżu ujścia rzeki Kłodnicy do zbiornika wskazuje na biologiczny rozkład zanieczyszczeń organicznych. Prawdopodobnie – w wyniku wieloletniej adaptacji – w osadach dennych wytworzyły się zespoły mikroorganizmów zdolnych do rozkładu węglowodorów [4, 20–23, 26].

Jak wspomniano wyżej, udział części lotnych w zawiesinach alochtonicznych wynosi przeciętnie 60%. Jednak wskaźnik ten, stosowany z powodzeniem w celu orientacyjnego określenia zawartości materii organicznej w osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków, w przypadku zawiesin alochtonicznych w rzece Kłodnicy nie spełnia oczekiwań. Powodem tego jest znaczny, bliżej nie określony udział w zawiesinach pyłu węglowego, pochodzącego z wód kopalnianych. Podczas wyprężania zawiesin w temperaturze 600°C następuje spalanie węgla mineralnego. Uzyskany wynik nie odzwierciedla więc zawartości materii organicznej w zawieszynie. Podobnie w trakcie oznaczania chemicznego zapotrzebowania tlenu metodą z dwuchromianem potasu wyniki też są niedokładne, ponieważ drobne frakcje węgla mineralnego w tym procesie zostają utlenione.

Próbując oszacować zawartość materii organicznej przyjęto, że w związku z czasem opadania zawiesin wynoszącym 15 minut jej zawartość odpowiadać może w przybliżeniu zawartości w zawiesinach usuwanych w oczyszczalniach ścieków na piaskownikach, gdzie wynosi około 5–10%. Ta część zanieczyszczeń zostaje rozłożona w procesie fermentacji beztlenowej w reaktywnej strefie zbiornika. Ze względu na znaczną mętność wody powodującą jej małą przezroczystość (Rys. 4) uważany za istotny w usuwaniu WWA proces fotoutleniania [29, 30] może mieć w warunkach badanego zbiornika mniejsze znaczenie.

Na uwagę zasługuje stwierdzona silna zależność między ogólnym stężeniem zawiesin w wodzie dopływającej do zbiornika a zawartością w nich wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (Rys. 5). Można przypuszczać, że wraz ze wzrostem stężenia zawiesin w wodzie rzeki zwiększa się ich powierzchnia sorpcyjna zawiesin, wskutek wzrostu udziału najdrobniejszych frakcji. Jak wykazały pomiary granulometryczne (Tab. 8), udział najdrobniejszych frakcji zawiesin (od 0,1  $\mu\text{m}$  do 5  $\mu\text{m}$ ) wynosi 1,7%, frakcji od 5  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$  – 1,8% (razem 3,5%). Udział frakcji o średniej wielkości, tj. od 10  $\mu\text{m}$  do 20  $\mu\text{m}$ , wynosi 6,7%, natomiast łączny udział frakcji największych, od 20  $\mu\text{m}$  do 250  $\mu\text{m}$ , wynosi prawie 90%. Należy zatem poszukiwać innych przyczyn wzrostu stężeń węglowodorów w zawiesinach, np. w niekontrolowanych zrzutach zanieczyszczeń przemysłowych.



Rys. 5. Zależność stężenia WWA w zawieszynie od ogólnego stężenia zawiesziny  
The relationship between PAH in suspended solids and total suspended solids concentration

Tabela 8. Przeciętny skład granulometryczny zawiesin wnoszonych do zbiornika Dzierżno Duże przez rzekę Kłodnicę

The average grain size composition of suspended solids carried into Dzierżno Duże dam-reservoir by Kłodnica river

Wielkość cząstek Quantity of pellets [μ]	0–5	5–10	10–20	20–50	50–100	100–250
Udział Share [%]	1,7	1,8	6,7	21,8	30,2	37,8

## PODSUMOWANIE

W porównaniu z sąsiednimi ciekami (Potok Toszecki, rzeka Drama) rzeka Kłodnica wnosi do zbiornika bardzo duże ładunki zawiesin. Wielkość ładunków dobowych zmienia się nieregularnie, nie pozostając w wyraźnej zależności od wielkości przepływu w rzece. Wskazuje to na prawdopodobieństwo występowania bliżej nie określonych zrzutów zawiesin.

Obliczone na podstawie rzeczywistego stężenia dobowego oraz rzeczywistego dobowego przepływu, ładunki dobowe zmieniały się w latach 1998–2000



od 48 do 480 Mg/d. Średnio dobowy ładunek zawiesiny w tym czasie wyniósł 86 Mg/d. Średnioroczny ładunek zawiesin wnoszonych do zbiornika Dzierżno Duże wynosi około 20 000 Mg/rok w latach suchych oraz około 30 tys. Mg/rok w latach o przeciętnej sumie opadów.

Wprowadzane ładunki zawiesin wpływają na zmianę warunków morfometrycznych (wypływanie) w górnej części zbiornika. Wprowadzony w czasie 35 lat eksploatacji zbiornika ładunek zawiesin alochtonicznych oszacowano na około 700 tys. ton. Odpowiada to objętości około 350 tys. m<sup>3</sup>. Stanowi to około 0,4% całkowitej pojemności zbiornika. Problem zamulania zbiornika z punktu widzenia zmniejszania jego pojemności obecnie nie stanowi zatem problemu.

W wyniku wieloletniego nagromadzenia zawiesin oraz zawartych w nich zanieczyszczeń w pobliżu ujścia rzeki wytworzyła się bardzo charakterystyczna, silnie zanieczyszczona strefa. W strefie tej (reaktywnej), o zmiennej — w zależności od wysokości poziomu wody w zbiorniku — powierzchni (około 70 ha), przebiegają bardzo intensywnie procesy sedymentacji oraz rozkładu materii organicznej. Rozkładowi temu towarzyszy wydzielanie olbrzymiej ilości biogazu wydzielanego z osadów dennych. Wysokie stężenia zawiesin, w których obecne są pyły węglowe, powodują znikomą przezroczystość wody, ograniczając fotochemiczny rozkład zanieczyszczeń organicznych [29, 30].

Wielkość i zasięg strefy reaktywnej zależy w badanym zbiorniku od wielkości przepływu w rzece oraz od gospodarki wodą w zbiorniku. Obniżanie poziomu wody w zbiorniku, które zachodzi podczas alimentowania Kanału Gliwickiego, powoduje, że punkt zrzutu wód rzeki Kłodnicy do zbiornika przesuwa się w głąb zbiornika. W ten sposób ładunki zawiesin wprowadzane są okresowo do dalej położonych partii osadów dennych. Z kolei podniesienie poziomu wody w zbiorniku powoduje, że wody rzeki Kłodnicy nie wpadają do zbiornika zwartym korytem, lecz rozlewają się szeroko po rozległych płycznach, tworząc liczne mniejsze kanały. W ten sposób w zbiorniku wytworzył się specyficzny mechanizm rozprowadzania materii alochtonicznej w strefie reaktywnej.

Badania opadalności zawiesin wykazały, że w przeważającej części są to zawiesiny szybko opadające. Jak widać na rysunkach 2 i 3, ponad 90% zawiesin opada na dno zbiornika w czasie 10–20 minut. Praktycznie 100% zawiesin alochtonicznych wnoszonych z wodą rzeki Kłodnicy zostaje zatrzymanych w zbiorniku.

Stwierdzono, że w przypadku takich metali, jak: chrom, kadm, miedź, ołów i mangan udział form rozpuszczonych w ogólnym ładunku wprowadzanym do zbiornika wynosił odpowiednio: Cr — 90%, Cd — 76%, Cu — 86%, Pb — 90%, Mn — 88%. Pozostała część wprowadzana była do zbiornika w postaci form związanych w zawieszynie. W przypadku żelaza i cynku udział form rozpuszczonych wynosił 25%, związanych zaś w zawieszynie 75%. Wskazuje to na wyraźnie większą — w procesie transportu zanieczyszczeń do zbiornika antropogenicznego Dzierżno Duże — rolę rozpuszczonych w wodzie form i ładunków metali aniżeli zawartych w zawieszynie.

Ze względu na stopień zanieczyszczenia rzeki Kłodnicy, w tym także stężenia zawiesin, przyjęto założenie, że osiadająca zawiesina tworzy rodzaj osadów ściekowych. W odniesieniu do Rozporządzenia MOŚZNiL z dnia 11 sierpnia 1999 r. (Dz.U. Nr 72, poz. 813) w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe, stężenia poszczególnych metali przedstawiają się następująco. W przypadku wykorzystywania nanosów alochtonicznych w rolnictwie, do rekultywacji gruntów, na potrzeby rolnicze oraz do kompostowania, stężenia ołowiu (Pb), chromu (Cr), miedzi (Cu), niklu (Ni) i cynku nie przekraczają przewidzianych w tym zakresie norm. Stężenia kadmu znajdują się natomiast na granicy normy. W zakresie stosowania do rekultywacji gruntów na potrzeby nierolnicze oraz do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, a także do roślinnego utrwalania powierzchni gruntów, stężenia wszystkich oznaczanych metali nie przekraczają dopuszczalnych norm.

Badania, na podstawie których powstała niniejsza praca, zostały sfinansowane ze środków Śląskiego Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach.

## LITERATURA

- [1] Allen J.R.L.: *A review of the origin and characteristic of recent alluvial sediments*, Sedimentology, **5**, 89–191 (1965).
- [2] Anh M.T., L.M. Triet, J. Sauvain, J. Tarradellas: *PAH concentration levels in air particles and sediments of Ho Chi Minh City, Vietnam*, Bull. Environ. Contam. Toxicol., **63**, 728–735 (1999).
- [3] Babiński Z.: *Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły*, Prace Geogr. IGPZ, PAN, 157 (1992).
- [4] Bachmann G., Terytze K., F. Rucka, C.G. Bannick: *NATO ASI series Precautionary values for the protection of soil; Derivation and recommendation for some heavy metals, PCB, and PAH*, Mat. Of Training Course "Technological and Economic Aspects on Soil Bip/Phyto Remediation", Plovdiv, Bulgaria, 5–17 October, 1997.
- [5] Bojanowski R., T. Koszarka: *Transport pierwiastków śladowych wodami Wisły do Bałtyku*, Studia i Materiały Oceanologiczne nr 14, Chemia morza (2), 199 (1976).
- [6] Brański J.: *Oznaczanie ilości unosin metodą wagową bezpośrednią przy użyciu sączków*, Prace PIHM, **94**, 13–21 (1968).
- [7] Borneff J. H. Kunte: *Carcinogenic substances in water and soil. XVI. Evidence of PAH in water samples throught direct extraction*, Arch., Hyg. Bakt., **148**, 585–597 (1964).
- [8] Fal B.: *Transport rumowiska unoszonego i rozpuszczonego na środkowej Wiśle oraz próba ustalenia ogólnej masy transportu w rejonie Warszawy*, Prace PIHM, **88**, 83–92 (1965).
- [9] Kosinkiewicz B., M. Mokrzycka: *Transformacja i wykorzystanie antracenu przez mikroorganizmy glebowe*, Arch. Ochr. Środ. **1–2**, 77–88, (1988).
- [10] Kostecki M.: *Chemizm wody oraz podstawowe wskaźniki określające intensywność krążenia materii w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach*, Arch. Ochr. Środ. **3–4**, 163–182 (1977).
- [11] Kostecki M.: *Dynamika przemian oraz wstępny bilans podstawowych form azotu i fosforu w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach*, Arch. Ochr. Środ. **3**, 57–85 (1977).
- [12] Kostecki M., J. Kyzioł, B. Zych: *Metale ciężkie w osadach dennych antropogenicznego zbiornika wodnego „Dzierżno Duże” (woj. Śląskie)*, Arch. Ochr. Środ. (1999 w druku).

- [13] Kostecki M., J. Kozłowski, E. Kowalski, A. Domurad: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Cz. I. Charakterystyka hydrochemiczna rzeki Dramy*, Arch. Ochr. Środ. **24(1)**, 27–44 (1998).
- [14] Kostecki M., E. Kowalski, A. Domurad: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Cz. II. Metale ciężkie w wodzie i osadach dennych rzeki Dramy*, Arch. Ochr. Środ. **24(1)**, 45–56 (1998).
- [15] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Cz. III. Metale ciężkie w osadach dennych zbiornika*, Arch. Ochr. Środ. **24(2)**, 73–81 (1988).
- [16] Kostecki M., A. Węglarz: *Wybrane związki organiczne (BTEX, WWA) w osadach dennych antropogenicznego zbiornika Dzierżno Duże (woj. Śląskie)*, Arch. Ochr. Środ. (2000 – w druku).
- [17] Kostrzewski A., M. Mazurek, Z. Zwoliński: *Reżim transportu fluwialnego a charakter procesów denudacyjnych w zlewni górnej Parsęty*, I Zjazd Geomorfologów Polskich, Poznań 1991, s. 61–62.
- [18] Kostrzewski A., Z. Zwoliński: *Koncentracja i ładunek materiału zawieszonoego i rozpuszczonego w zlewniach cząstkowych dorzecza górnej Parsęty w roku hydrologicznym 1986*, Spraw. PTPN, **105**, 51–54 (1988a).
- [19] Kostrzewski A., M. Mazurek, Z. Zwoliński: *Sezonowa zmienność składu chemicznego wód górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie) jako odzwierciedlenie funkcjonowania systemu zlewni*, Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Z. Nauk., **6**, 79–99 (1993).
- [20] Krzemień K., J. Świętochowicz: *Zróźnicowanie i zmienność koncentracji zawiesiny w zlewni Starej Rzeki*, Z. Nauk. UJ., Prace Geogr., **88**, 71–86 (1992).
- [21] Maliszewska B.: *Zawartość WWA w glebach użytkowanych rolniczo na terenie woj. lubelskiego*, Roczniki Gleboznawcze, t. 48, 1–2, 95.
- [22] Maliszewska-Kordybach B., H. Terelak, B. Smreczek: *Wpływ przemysłu, komunikacji i urbanizacji na zawartość WWA w glebach z terenu gruntów ornych w Polsce. Związki organiczne w środowisku i metody ich oznaczania*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa 1998, s. 233.
- [23] Maliszewska-Kordybach B.: *Wpływ nawożenia organicznego na trwałość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach*, Arch. Ochr. Środ., **2**, 153–162 (1992).
- [24] Moore J., J. Ramamoorthy: *Heavy metals in Natural Waters*, Springer-Verlag, Berlin 1984.
- [25] Pasternak K.: *Akumulacja metali ciężkich w osadach dennych Białej Przemszy jako wskaźnik ich rozprzestrzeniania drogą wodną z górniczo-hutniczego ośrodka przemysłu cynku i ołowiu*, Acta Hydrob., **16**, 51–63 (1974).
- [26] Smreczek B., B. Maliszewska-Kordybach: *Rozkład i oddziaływanie ekotoksykologiczne WWA w glebie zanieczyszczonej przez niektóre metale ciężkie. Związki organiczne w środowisku i metody ich oznaczania*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa 1998, s. 235.
- [27] Stach A.: *Przebieg transportu substancji rozpuszczonych i zawiesin w trakcie wezbrania opadowego w dwóch zlewniach dorzecza Parsęty*, Spraw. PTPN, **106**, 24–28 (1988).
- [28] *Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w środowisku przyrodniczym*, Prace IKŚ, PWN, Warszawa 1988.
- [29] Waters W.W.: *The thermal decomposition of some mesosubstituted anthracene photo-oxides*, J. Chem. Soc., 4340–4346 (1970).
- [30] Wasserman H.H., J.R. Scheffer: *Singlet oxygen reactions from photoperoxides*, J. Amer. Chem. Soc., **89**, 3073–3075 (1967).
- [31] Wilson A.L.: *Concentration of trace metals in river waters*, A rewiew. Water Research Centre, Medmenham, Berks. Nr 16 (1976).
- [32] Zaricchia A.H., S. Chiavarini, M. Pezza: *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmospheric particulate matter in the city of Naples (Italy)*, Atm. Env. **33**, 3731–3738 (1999).
- [33] *Badania limnologiczne zbiornika Dzierżno Duże – ocena stopnia skażenia wody i osadów dennych w aspekcie procesów samooczyszczania*, Praca IPIŚ-PAN w Zabrze (Nr wew. C2-812/98) (nie publ.) (1998).

- [34] *Określenie zmian jakości wód oraz ocena stopnia zagrożenia środowiska wodnego w rejonie zbiornika zaporowego „Pławniowice” po 18-letnim okresie eksploatacji*, Praca IPIŚ-PAN, Zabrze (nie publ.) (1994).
- [35] *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe jako ekosystemu zamykającego system wodny rzeki Dramy*, Praca IPIŚ-PAN Zabrze (nie publ.) (1996).
- [36] *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego w Pławniowicach, opracowanie systemu sterowania ruchem mas wodnych w celu zmniejszenia stopnia eutrofizacji oraz zwiększenia zasięgu epilimnionu*, Praca IPIŚ-PAN, Zabrze (nie publ.) (1998).
- [37] *Ocena zagrożenia powietrza atmosferycznego węglowodorami aromatycznymi w sąsiedztwie tras komunikacyjnych*, Praca IPIŚ-PAN, Zabrze (nie publ.) (2000).

Wpłynęło: 29 lutego 2000, zaakceptowano do druku: 18 maja 2000.