

Bernard Gałka*

**OCENA STOPNIA ZANIECZYSZCZENIA I MOŻLIWOŚCI
ZAGOSPODAROWANIA OSADÓW DENNYCH Z MAŁYCH OBIEKTÓW
WODNYCH W PARKU WE WROCŁAWIU-PAWŁOWICACH**

**ASSESSMENT OF CONTAMINATION AND UTILIZATION
PERSPECTIVES OF BOTTOM SEDIMENTS FROM IN SMALL PARK
PONDS IN WROCŁAW-PAWŁOWICE**

Słowa kluczowe: osady denne, staw, metale ciężkie, WWA, rekultywacja.

Key words: bottom sediments, pond, heavy metals, PAH, reclamation.

Contamination with trace elements and PAHs was analyzed in bottom sediments of two renovated small ponds situated in village park Pawłowice on the border of town Wrocław. Concentrations of metals and PAHs in bottom sediments were typical for water bodies in agricultural catchments, and achieved (in mg·kg⁻¹): As – 8.48, Cd – 0.23, Cr – 116.7, Cu – 28.0, Hg – 0.26, Ni – 59.3, Pb – 29.7, Zn – 142.0, benzo(b)fluorantene – 0.60, benzo(k)fluorantene – 0.26, benzo(a)pirene – 0.39, benzo(ghi)perylene – 0.46, and indeno(1,2,3-c,d)pirene – 0.89. Amounts of substances under assessment were below limit values established in official Polish regulations (quality of bottom sediments – Dz.U.2002.55.498, and quality of soils – Dz.U.2002.165.1359). According to profitable properties and low content of unwanted substances, bottom sediments under investigation are allowed to utilization as nutrient and ameliorative material in renovation of park surfaces, without a threat of environmental pollution.

1. WPROWADZENIE

Zbiorniki wodne gromadzą materię spływającą z terenu zlewni. Skład chemiczny osadów dennych zbiornika jest więc uzależniony w dużym stopniu od gospodarki prowadzonej przez człowieka. Metale ciężkie dopływające wraz z wodami rzecznyymi gromadzą się głów-

* **Dr inż. Bernard Gałka – Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; kontakt: tel. 71 320 56 35; e-mail: bernard.galka@up.wroc.pl**

nie w osadach dennych w wyniku procesów sedymentacji materii i sorpcji. Procesy te mogą unieruchamiać metale w osadach nawet na dłuższy czas [Dobicki 2004, Polechoński 2004]. Analiza zawartości metali ciężkich zakumulowanych w osadach dennych zbiornika stanowi cenny materiał do opisu źródeł, prędkości oraz dróg dystrybucji metali w zbiorniku i jest podstawą w ustaleniu możliwego powtórnego zanieczyszczenia wód zbiornika [Kostecki i in. 1998]. Metale ciężkie są odprowadzane do wód powierzchniowych ze ściekami przemysłowymi i ściekami komunalnymi; pośrednio także z pól i łąk, gdzie dostają się jako domieszki nawozów sztucznych i środków ochrony roślin, z transportu, a także z emisji do atmosfery znacznych ilości pyłów [Kajak 2001, Strutyński i Łojek 2002]. Ważną cechą, która wyróżnia metale ciężkie wśród innych toksycznych zanieczyszczeń, jest to, że nie ulegają one biodegradacji, a jedynie biotransformacji [Wojtkowska i in. 2005].

Zawartość metali ciężkich i innych substancji w osadach dennych może posłużyć do bardziej szczegółowej charakterystyki chemicznej środowiska wodnego oraz sytuacji geochemicznej panującej w zlewni, rozprzestrzeniania zanieczyszczeń lub identyfikacji ich źródeł. Określenie właściwości osadów jest bardzo ważne szczególnie w małych zbiornikach wodnych, m.in. ze względu na szybkie tempo ich zamulania [Tarnawski i Michalec 2008] i konieczność okresowego ich odmulania.

Po każdorazowym odmuleniu ważne jest właściwe zagospodarowanie osadów. Osady denne są potencjalnie cennym materiałem użyźniającym gleby ze względu na zwiększone uziarnienie, dużą pojemność sorpcyjną, znaczną zawartość substancji organicznej oraz makro- i mikrośladników. Niestety nawet w małych zlewniach rolniczych osady denne w rowach i zbiornikach wodnych mogą zawierać nadmierne koncentracje metali ciężkich, pestycydów, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych WWA i innych ksenobiotyków. Przy rolniczym lub rekultywacyjnym zagospodarowaniu osadów dennych niezbędna jest więc ocena ich składu chemicznego oraz sanitarnego.

W ramach rewitalizacji zespołu pałacowo-parkowego we Wrocławiu-Pawłowicach podjęto w 2005 r. prace mające na celu odmulenie dwóch stawów i towarzyszących rowów. Kubaturę urobku z odmulania stawów oszacowano wstępnie na około 4200 m³, w tym z głównego stawu parkowego – 3140 m³, ze stawu RZD – 622 m³, z rowu L – 327 m³ oraz z rowu P – 118 m³.

Celem podjętych prac badawczych była analiza zawartości wybranych pierwiastków śladowych oraz WWA w osadach dennych stawów i rowów parkowych, z określeniem możliwości zagospodarowania urobku osadów do renowacji otaczającego parku – bez ryzyka skażenia środowiska glebowego.

2. OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Zabytkowy park dworski w Pawłowicach położony jest w strefie podmiejskiej miasta Wrocławia, około 10 km na północny wschód od jego centrum. Właścicielem obiektu jest Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. Obszar parku jest położony na pograniczu Rów-

niny Oleśnickiej oraz Pradoliny Wrocławskiej, na styku równiny morenowej oraz doliny rzeki Dobra. Utwory czwartorzędowe budujące powierzchniowe warstwy geologiczne terenu parku i jego najbliższego otoczenia to głównie gliny i piaski zlodowacenia środkowopolskiego, plejstocenijskie ropy i mułki zastoiskowe, piaski rzeczne, piaski eoliczne pochodzące najprawdopodobniej ze schyłku zlodowacenia północnopolskiego oraz najmłodsze holocenijskie denne osady rzeczne [Mirowski, Rytlewski 1989, Sawicki 1997]. Głównym źródłem zasilającym badane stawy są zarówno wody spływające z okolicznych pól siecią rowów melioracyjnych, jak i wody wzbogacone ściekami bytowymi z pobliskiego osiedla domków jednorodzinnych wyposażonych w przydomowe szamba.

Po spuszczeniu wody ze stawów i naturalnym osuszeniu się ich dna, na każdym z stawów zlokalizowano po 12 równomiernie rozmieszczonych punktów poboru próbek osadów dennych. Materiał pobrany z 4 sąsiednich punktów był następnie dokładnie mieszany (uśredniany) w celu wyłonienia trzech reprezentatywnych próbek średnich z każdego stawu.

Próbki przygotowano i poddano analizie zgodnie z objaśnieniami zawartymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [Rozporządzenie w sprawie rodzaju... 2002].

Całkowitą zawartość metali ciężkich (arsenu, chromu, cynku, kadmu, miedzi, niklu, ołowiu i rtęci) oznaczono metodą AAS po mineralizacji próbek w wodzie królewskiej w układzie zamkniętym (piec mikrofalowy), z zastosowaniem właściwych metod atomizacji w odniesieniu do rtęci (zimnych par) i arsenu (generacji wodorków). Stężenie wybranych WWA (benzo(b)fluoraten[B(b)F], benzo(k)fluoraten [B(k)F], benzo(a)piren [B(a)P], benzo(ghi)perylene[B(ghi)P], indeno(1,2,3-c,d)piren) badano metodą HPLC w ekstraktach dichlorometanowych.

Przydatność osadów do wykorzystania zweryfikowano na podstawie zawartości poszczególnych analizowanych substancji na podstawie przywołanego wyżej rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony, a możliwość zagospodarowania urobku oceniono na podstawie rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, [Rozporządzenie w sprawie standardów... 2002], a także rozporządzenia w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu Ministra Gospodarki [Rozporządzenie w sprawie kryteriów... 2005].

3. WYNIKI I DYKUSJA

Urobek z oczyszczania dna stawów i rowów w parku Pawłowice jest mieszaniną stratyfikowanych namulów mineralnych (ilastych i piaszczystych), najczęściej o jasnym zabarwieniu, z domieszkami organicznymi. Miejscami jest intensywnie poprzerastany kłączami trzciny, pałki wodnej i innych roślin nadwodnych. Po spuszczeniu wody ze stawów i rozpoczęciu osuszania osadów nie stwierdzono zagniwania osadów i wydzielania siarkowodoru. W sta-

nie wysuszonym osady nie stwarzają problemów technicznych przy ładowaniu, transporcie i rozścielaniu na powierzchni terenu.

Osady dennie w dwóch analizowanych stawach, mimo bliskiego położenia na terenie jednego obiektu parkowego, dość znacznie różnią się zawartością pierwiastków śladowych oraz węglowodorów aromatycznych. Zdecydowanie większe koncentracje wszystkich substancji stwierdzono w osadach z mniejszego stawu RZD. W stawie tym stwierdzono średnio $0,26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ rtęci, podczas gdy w dużym stawie parkowym stwierdzono ilości o połowę mniejsze – średnio $0,11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Także stężenia chromu, cynku, miedzi i niklu w osadach dennych w stawie RZD są około dwukrotnie większe niż w dużym stawie parkowym. Większą, niemal trzykrotnie, różnicę stężeń stwierdzono w odniesieniu do ołowiu (średnio $29,7$ i $11,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), arsenu ($8,48$ i $3,19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz kadmu ($0,23$ i $0,70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Różnice w stężeniach WWA w osadach porównywanych stawów są jeszcze większe. Koncentracje benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(a)pirenu oraz benzo(ghi)perylenu są w osadach stawu RZD około czterokrotnie większe niż w osadach dennych z dużego stawu parkowego, a różnica w stężeniu indeno(1,2,3-c,d)pirenu jest nawet dziesięciokrotna (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość pierwiastków śladowych i WWA (średnie zawartości) w osadach dennych stawów parku w Pawłowicach.

Table 1. Concentration of trace elements and PAHs (mean values) in bottom sediments of park ponds in Pawłowice.

Analizowana substancja	Duży staw parkowy	Staw RZD	Dopuszczalne stężenie w osadzie*	Standard jakości gleby**
	mg·kg ⁻¹			
As	3,19	8,48	30	20
Cr	52,0	116,7	200	150
Zn	61,6	142,0	1000	300
Cd	0,07	0,23	7,5	4
Cu	14,7	28,0	150	150
Ni	25,3	59,3	75	100
Pb	11,8	29,7	200	100
Hg	0,11	0,26	1,0	2,0
Benzo(b)fluoranten	0,151	0,603	1,5	1,5
Benzo(k)fluoranten	0,061	0,265	1,0	1,5
Benzo(a)piren	0,093	0,389	1,0	1,0
Benzo(ghi)perylen	0,166	0,458	1,0	1,0
Indeno(1,2,3-c,d)piren	0,096	0,895	1,0	1,0

Objaśnienia: *Dopuszczalne stężenie substancji ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w osadzie dennym według rozporządzenia Ministra Środowiska (Dz.U.2002.55.498), **Dopuszczalne stężenie substancji ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w standardzie jakości gleby i ziemi (Dz.U. 2002.165.1359).

Stawy są zasilane jednym rowem, zbierającym wody przede wszystkim z obszaru typowej zlewni rolniczej (pola uprawne i trwałe użytki zielone). Rów odbiera także pewne ilości wód powierzchniowych i gruntowych z obszaru zabudowań gospodarstwa rolnego (folwaruku), istniejącego od ponad 100 lat, zabudowy osiedlowej rozwijającej się w otoczeniu parku od lat 70-tych XX wieku, a także z drogi publicznej, wzdłuż której biegnie rów po regulacji przeprowadzonej jeszcze w okresie przedwojennym.

Zwiększone koncentracje niektórych metali ciężkich (arsenu, rtęci i miedzi) oraz WWA mogą być tłumaczone obecnością w glebach i wodach gruntowych pozostałości środków ochrony roślin, co znajduje potwierdzenie w doniesieniach innych autorów, badających osady denne w rowach i akwenach wodnych na obszarach typowo rolniczych [Polechoński 2004, Strutyński, Łojek 2002, Tarnawski, Michalec 2008].

Badane stawy są położone w układzie szeregowym, przy czym staw RZD jest położony wyżej, a jednocześnie bliżej pól uprawnych i zabudowań gospodarczych. Obydwa te elementy mogą tłumaczyć znacznie większą akumulację zanieczyszczeń w stawie RZD. Zastawka regulująca tempo odpływu wody ze stawu RZD powoduje jednocześnie stagnację wody w stawie i sprzyja sedymentacji drobnych zawiesin mineralnych i organicznych. Staw RZD spełnia więc rolę osadnika, mechanicznie zatrzymującego część zawiesin z wody dopływającej rowem na obszar parku.

Stwierdzone koncentracje metali ciężkich można uznać za małe lub średnio duże w porównaniu z danymi przytaczanymi przez innych autorów. Niestety brak danych ze zbiorników o podobnym charakterze powoduje, że ocenę oparto na wynikach badań osadów z niewielkich cieków wodnych. W porównaniu do jakości osadów dennych małych rzek Podlasia [Skorbiłowicz, Wiater 2003] lub Małopolski [Strutyński, Łojek 2002] w analizowanych osadach stwierdzono większe stężenia cynku, miedzi i ołowiu, ale znacznie mniejsze ilości kadmu. Wykazane stężenia metali ciężkich, nawet w silniej zanieczyszczonych osadach stawu RZD, są wielokrotnie niższe od koncentracji metali stwierdzonych w osadach dennych jeziorzek [Wojtkowska i in. 2005] lub kanałów [Dzidowska, Noga 2007] na obszarach miejskich, gdzie stężenia cynku nierzadko przekraczają $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a rtęci $1,5 - 2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Stężenia analizowanych pierwiastków śladowych oraz WWA w osadach dennych stawów parku dworskiego w Pawłowicach nie przekraczają wartości granicznych, definiowanych przez rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [Rozporządzenie w sprawie rodzaju...2002], a także rozporządzenia w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [Rozporządzenie w sprawie standardów...2002]. Stwierdzone ilości arsenu, chromu, cynku i niklu (w osadach bardziej zanieczyszczonego stawu RZD) są przynajmniej o połowę mniejsze niż wartości graniczne standardu jakości gleby i ziemi, a stężenia miedzi, kadmu i ołowiu nie przekraczają 10 – 30% wartości dopuszczalnej. Podobnie stwierdzone stężenia WWA osiągają 5 – 45% wartości normatywnych standardu jakości gleby, jedynie koncentracja indeno(1,2,3-c,d)pirenu sięga 90% wartości dopuszczalnej.

4. PODSUMOWANIE

Stwierdzone w osadach dennych zawartości pierwiastków śladowych oraz WWA nie stanowią przeszkody w wykorzystaniu osadów do celów rolniczych oraz rekultywacyjnych. Planowanym sposobem zagospodarowania osadów dennych ze stawów było ich wykorzystanie do renowacji obszaru parku, a także do użyczenia zrekultywowanego w kierunku leśno-parkowym wyrobiska dawnej piaskowni.

W pierwszej kolejności zaplanowano wykorzystanie urobku do niwelacji nierówności na obszarze otaczającego parku i wzdłuż dróg dojazdowych do parku, gdzie urobek rozkładano w warstwie o miąższości nieprzekraczającej 60 cm. Część urobku przeznaczono do rozłożenia w niżej położonej części parku, w warstwie o miąższości nieprzekraczającej 30 cm. Na terenie parku osady były rozścielane lekkim sprzętem mechanicznym, a w wielu miejscach również ręcznie (między grupami drzew i krzewów). Cienka warstwa namułów umożliwi wyrównanie powierzchni parku, a nie wpłynie zasadniczo na wygląd parku i nie zmieni warunków wzrostu drzew i krzewów.

Pozostałą część osadów przeznaczono do wykorzystania na terenie tzw. parku jubileuszowego, gdzie urobek powinien być rozścielony lekkim sprzętem mechanicznym i ręcznie, na powierzchni około 1,5 ha, warstwą o miąższości nieprzekraczającej 20 cm. Park jubileuszowy założony został na zrekultywowanych terenach po dawnej eksploatacji piasku i żwiru, toteż warstwa namułów umożliwi ostateczne wyrównanie powierzchni i poprawi właściwości fizykochemiczne słabo wykształconych gleb piaskowych, dominujących na tym obszarze.

Całkowite wykorzystanie urobku z oczyszczania (odmulania) stawów do renowacji obiektów parkowych pozwala na uniknięcie kłopotliwej sytuacji traktowania osadów dennych jako odpadów oraz jest korzystne z punktu widzenia lokalnego nawozowego wykorzystania makroskładników zgromadzonych w osadach.

5. WNIOSKI

1. Koncentracje metali ciężkich w osadach dennych stawów parku dworskiego, zasilanych wodami ze zlewni rolniczej osiągają 10 – 60% wartości dopuszczalnej według przepisów regulujących jakość osadów dennych oraz gruntów wykorzystywanych do celów rolniczych lub rekultywacyjnych.
2. Stężenia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w analizowanych osadach dennych mieszczą się w zakresie 5 – 45% wartości normatywnych, jedynie stężenie inde-no(1,2,3-c,d)pirenu w osadach jednego ze stawów sięga 90% wartości dopuszczalnej.
3. Mineralne osady denne z odmulania stawów parku dworskiego w Pawłowicach mogą być wykorzystane lokalnie jako materiał ziemny niwelacyjny przy renowacji parku dworskiego, a także jako materiał użyźniający na zrekultywowanym terenie po eksploatacji piasków i żwirów.

PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T., SOKOŁOWSKA G. 2000. Wyniki monitoringu geochemicznego osadów wodnych w Polsce w latach 1998 i 1999. *Bibl. Monit. Środ.*, IOŚ, Warszawa.
- BOJAKOWSKA I. 2001. Kryteria oceny zanieczyszczeń osadów wodnych, *Przegląd Geologiczny* 49: 213–218.
- DOBICKI W. Biodostępność metali ciężkich w środowisku jezior Suwalskiego Parku Krajo-
brazowego. *Zesz. Nauk. Akademii Rolnej we Wrocławiu* 504, Rozprawy 225.
- DZIDOWSKA K., NOGA L. 2007. Ocena jakości osadów dennych w kanale miejskim we
Wrocławiu. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 32: 259–263
- KOSTECKI M., DOMURAD A., KOWALSKI E., KOZŁOWSKI J. 1998. Badania limnologicz-
ne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Cz. III. Metale ciężkie w osadach dennych
zbiornika. *Archiwum Ochrony Środowiska* 24: 2, 73–81.
- POLECHOŃSKI R. Ołów w ekosystemie jeziora Sława – przemieszczanie kumulacja oraz
próba bilansu w dziesięcioleciu 1993–2003. *Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu*
497, Rozprawy 223.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzaju
oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony** (Dz. U.
z 2002 r. Nr 55, poz. 498).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów
jakości gleby oraz standardów jakości ziemi** (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów
oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów
danego typu** (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553).
- SKORBIŁOWICZ M., WIATER J. 2003. Ocena zanieczyszczenia metalami ciężkimi małych cie-
ków wodnych w obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego. *Acta Agrophysica*: 1, 321–328.
- STRUTYŃSKI J., ŁOJEK J. 2002. Zawartość kadmu, ołowiu, miedzi i cynku w wodach
i osadach dennych środkowego biegu rzeki Wieprzówki. *Zeszyty Naukowe Akademii
Rolniczej w Krakowie* 393; *Inżynieria Środowiska* 23: 53–59.
- TARNAWSKI M., MICHAŁEC B. 2008. Badania wybranych metali ciężkich w osadach den-
nych zbiorników wodnych Małopolski i Podkarpacia. W: Dubicki A. (red.), *Meteorolo-
gia, Hydrologia, Ochrona Środowiska – kierunki badań i problemy*. Seria Monografie.
IMGW, Warszawa: 392–397.
- WIATKOWSKI M., CIESIELCZUK T., KUSZA G. 2008. Occurrence of some heavy metals
in waters and bottom sediments in two small dam reservoirs, *Ecological Chemistry and
Engineering* 15(12): 1369–1376.
- WOJTKOWSKA M., NIESIOBĘDZKA K., KRAJEWSKA E. 2005. Metale ciężkie w wodzie
i osadach dennych Jeziora Czerniakowskiego. [W:] Gworek B. (red.), *Obieg pierwiast-
ków w przyrodzie*. Monografia. IOŚ, Warszawa: 194–197.