

*Alicja Czamara, Włodzimierz Czamara*

## **METALE CIĘŻKIE W SYSTEMIE EKOLOGICZNYM ZBIORNIKA MŚCIWOJÓW**

---

### ***HEAVY METALS IN ECOLOGICAL SYSTEM OF MŚCIWOJÓW RESERVOIR***

#### **Streszczenie**

W systemie ekologicznym zbiornika retencyjnego Mściwojów stwierdzono występowanie metali ciężkich. Określono stężenie wybranych pierwiastków: w osadach dennych zbiornika (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Mn, Fe) oraz w roślinności szuwarowej (*Phragmites australis*) znajdującej się w osadniku i zbiorniku wstępnym (Cu, Zn, Pb, Cd).

Metale te mogą być pochodzenia zarówno geogenicznego, jak i antropogenicznego. W artykule zaprezentowano próbę ustalenia ich genezy. W tym celu przeanalizowano budowę geologiczną podłoża zlewni cieków zasilających zbiornik oraz informacje o zanieczyszczeniach rolniczych i komunalnych. Antropogeniczne zagrożenie środowiska wodnego na tym terenie pochodzi głównie z przestrzeni rolniczej, na skutek stosowania intensywnych zabiegów uprawowych, używania nawozów mineralnych i środków ochrony roślin oraz nieracjonalnego prowadzenia gospodarki wodno-ściekowej.

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, osady dennie, roślinność szuwarowa, zbiornik retencyjny

#### **Summary**

*In the ecological system of the Mściwojów Reservoir the occurrence of heavy metals was ascertained. The concentration of chosen elements: in bottom sediments of the reservoir (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Mn, Fe) and in the reed (*Phragmites australis*) from settlement ponds and the pre-dam reservoir (Cu, Zn, Pb, Cd) has been determined.*

*Origin of these metals can be both geogenic and anthropogenic. In the paper the possibility of the element genesis has been presented. Accordingly, there has been analyzed the geological formation of the reservoir catchment and collected the information on agricultural and communal pollutions.. Anthropogenic hazard for the water environment on this area originates mostly from the agricultural space, as a consequence of applying the intensive agriculture, the mineral manures and the plant protection measures and the irrational leadership water-of sewer management.*

**Key words:** heavy metals, bottom sediments, reed, storage reservoir

## WSTĘP

Wyniki analizy składu chemicznego wody, osadów dennych i roślinności szuwarowej zbiornika retencyjnego w Mściwojowie wykazały występowanie w nich metali ciężkich. Ze względu na rolę, jaką metale pełnią w środowisku, określono stężenie wytypowanych pierwiastków: w osadach dennych zbiornika (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Mn, Fe) oraz w roślinności szuwarowej czaszy zbiornika (Cu, Zn, Pb, Cd). Metale znajdujące się w systemie ekologicznym zbiornika Mściwojów mogą być pochodzenia geogenicznego (z naturalnych środowisk geologicznych) lub antropogenicznego.

W artykule zaprezentowano badania stężenia wybranych pierwiastków oraz próbę ustalenia źródła ich pochodzenia. Z tego względu przeanalizowano budowę geologiczną terenu zlewni oraz zebrano informacje o źródłach zanieczyszczeń rolniczych i komunalnych z terenu zlewni cieków zasilających zbiornik.

## CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI ZBIORNIKA MŚCIWOJÓW

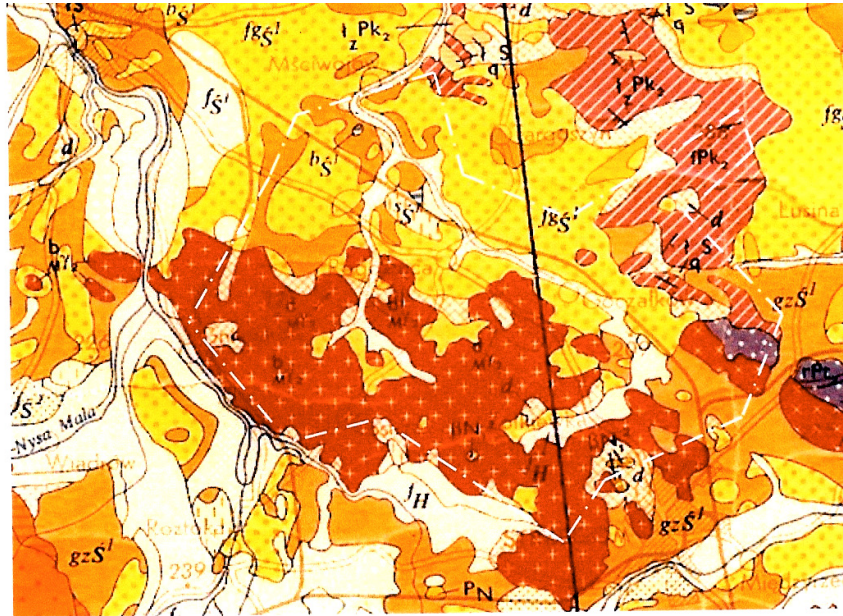
### Położenie zbiornika retencyjnego

Obiekt badań – zbiornik retencyjny Mściwojów znajduje się na terenie gminy Mściwojów w powiecie Jawor, w województwie dolnośląskim. Badany teren położony jest w makroregionie Przedgórze Sudeckiego w mezoregionie Wzgórze Sudeckich (rys. 1).

Zbiornik zasilany jest przez dwa ciek – górny odcinek rzeki Wierzbak ( $A = 47 \text{ km}^2$ ) i Zimnik ( $A = 14,3 \text{ km}^2$ ). Źródła rzek zasilających znajdują się na wysokości 200–217 m n.p.m., lustro wody w zbiorniku ma rzędnej 193,35 m n.p.m.

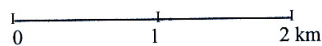
Zlewnia zbiornika ma charakter rolniczy. Zalesienie jest słabe, wynosi około 5%. Na terenie zlewni, w tym na obszarach bezpośrednio przyległych do zbiornika znajdują się uprawy zbóż, kukurydzy, roślin okopowych i warzyw.






Fragment Przeglądowej mapy geologicznej Polski – Arkusz (A) Wałbrzych

Skala



Objaśnienia:

 granica zlewni,

Mby<sub>2</sub> – granit z Zimnika i Goczałkowa; łPk<sub>2</sub> – łupki zieleńcowe, diabazy; fg<sup>ś1</sup> – utwory wodnolodowcowe; gz<sup>ś1</sup> – glina zwałowa; fH – mułki, piaski i żwiry rzeczne.

**Rysunek 2.** Budowa geologiczna zlewni [Szczański 1981a]

**Figure 2.** Geological structure of the catchment [Szczański 1981a]

Na pozostałym obszarze zlewni wśród utworów powierzchniowych dominują czwartorzędowe piaski i żwiry wodno-lodowcowe oraz utwory lodowcowe – gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego. Tworzą one w obrębie Równiny Jaworskiej prawie ciągłą pokrywę o miąższości od kilku do blisko 50 m (średnio 10–20 m).

Dno dolin rzecznych Wierzbicka i Zimnika wypełniają holocenijskie utwory aluwialne. Są to głównie mułki, piaski i żwiry o różnej miąższości (do 10 m) [Szałamacha, Szałamacha 1996].

Na terenie zlewni, między Siekierzycami i Zębownicami, znajdują się nieeksploatowane obecnie złoża kruszywa naturalnego oraz obszar perspektywiczny dla surowców kaolinitowych (między Paszowicami a Niedaszowem). Dla potrzeb lokalnych funkcjonuje żwirownia w Mściwojowie.

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Obszar zlewni zbiornika Mściwojów należy do Regionu Przedsudeckiego – Podregionu Sudeckiego (XXV 3), który charakteryzuje się występowaniem wód szczelinowych w utworach krystalicznych (paleozoik-prekambr) oraz czwartorzędowych wód porowych.

Wody szczelinowe występują na głębokości od kilku do 130 m, przeważnie do 50 m. Zwierciadło jest najczęściej swobodne, jeżeli występuje głębiej mogą występować pod ciśnieniem, niekiedy spotyka się samowypływy.

Wody porowe występują w dolinach rzek, w utworach czwartorzędowych, na głębokości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Zwierciadło jest swobodne, gdy występuje głębiej jest często pod ciśnieniem. Wydajność wynosi przeważnie od 5 do 20 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Miąższość utworów czwartorzędowych jest najczęściej mniejsza od 5 m [Przyłuski 1984].

## GOSPODARKA WODNO-ŚCIEKOWA W ZLEWNI ZBIORNIKA

Jakość wód powierzchniowych dopływających do zbiornika zależy w dużym stopniu od stanu gospodarki wodno-ściekowej regionu. Na terenie zlewni zbiornika Mściwojów znajduje się pięć nieskanalizowanych wsi: Niedaszów, Żółkiewka, Zimnik, Rogoźnica i Goczałków. Ze względu na brak środków finansowych nie było możliwości podłączenia ich do istniejących oczyszczalni w Mściwojowie i Strzegomiu.

Na terenie zlewni nie ma większych zakładów przemysłowych, natomiast znajdują się tam liczne kamieniołomy i zakłady kamieniarskie. Wodociągi znajdują się w czterech wsiach (z wyjątkiem Zimnika). Mieszkańcy korzystają również ze studni kopanych. Na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji stwierdzono we wszystkich miejscowościach istnienie punktów zrzutu zanieczyszczeń do rowów melioracyjnych oraz bezpośrednio do rzeki. Dużym zagrożeniem dla jakości wód powierzchniowych są ścieki pochodzące z szamb wywożone na tereny położone blisko rzeki. Stwierdzono również wyrzucanie odpadów i śmieci w pobliżu koryta cieków [Wiatkowski i in. 2006].

Nieuporządkowana gospodarka wodno-ściekowa w obrębie zlewni rzek zasilających zbiornik – brak w większości gospodarstw wiejskich prawidłowo urządzonych gnojowników, niewielka ilość zbiorników na gnojówkę i zbiorników do gromadzenia ścieków bytowo-gospodarczych oraz brak kanalizacji ma istotny wpływ na jakość wód doprowadzanych do zbiornika Mściwojów.

## **GENEZA METALI WYSTĘPUJĄCYCH W HYDROSFERZE**

W chemizmie wód mają udział substancje pochodzące z naturalnych środowisk geologicznych, z atmosfery oraz substancje pochodzenia antropogenicznego.

Znaczący udział mają substancje geogeniczne – pochodzące z ośrodka skalnego, powstające w wyniku procesów geologicznych i hydrogeologicznych. Podwyższone stężenie mikrośladników (Au, Ag, Cu, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, U, Cd, Cu, Pb) w wodach jest najczęściej związane ze strefami występowania określonych złóż lub lokalnych nagromadzeń minerałów zawierających dany pierwiastek. Znaczna część mikrośladników wykazuje właściwości biofilne, w związku z czym obserwuje się podwyższone ich zawartości w biolitach.

W masywach skał krystalicznych (magmaowych i metamorficznych) w klimacie umiarkowanym występują najczęściej wody podziemne nisko zmineralizowane, których skład uzależniony jest od składu wietrzejących glinokrzemianów. Proces wzbogacania wód podziemnych, zasilających wody powierzchniowe w substancje rozpuszczone, krążące w tych skałach jest ograniczony. W skład skał krystalicznych wchodziły minerały słabo rozpuszczalne, a krążące wody mają charakter wód szczelinowych, przez co mają bardziej ograniczoną możliwość oddziaływania z ośrodkiem skalnym. Rozkład krzemianów i przechodzenie niektórych z ich składników do roztworów może następować w wyniku hydrolytycznego działania wody w obecności kwasu węglowego.

Do roztworu dostają się wówczas metale alkaliczne (Na, K, Li), metale ziem alkalicznych (Ca, Mg, Sr, Ba) oraz Fe i Mn, głównie w formie wodorowęglanów. W wyniku procesu wietrzenia chemicznego piroksen wzbogaca wody podziemne w Ca, Mg, wodorowęglany oraz krzemiany; przeobrażenie skalenia potasowego w kaolinit wzbogaca wody podziemne w potas, wodorowęglany oraz krzemiany; przeobrażenie biotyту w chloryt wzbogaca wody podziemne w potas, magnez, żelazo, glin, wodorowęglany oraz krzemiany [Macioszczyk, Dobrzyński 2002].

Wody krążące w skałach osadowych są z reguły silniej zmineralizowane niż występujące w podobnych warunkach w skałach magmaowych i metamorficznych. Skład anionowy jest bardziej urozmaicony, dominującym anionem jest najczęściej chlor. Skały osadowe charakteryzują się większą podatnością na rozpuszczanie, ługowanie i wietrzenie. Duży wpływ na przeobrażenie chemizmu wód mają minerały ilaste.

Wiele mikrośladników występuje w wyjątkowo dużych ilościach w strefach zanieczyszczeń antropogenicznych. Na terenach wiejskich główną przyczyną zanieczyszczenia wód jest: chemizacja rolnictwa, intensyfikacja hodowli, nieracjonalnie prowadzona gospodarka wodno-ściekowa. Wskutek tych czynników następuje wzrost mineralizacji, przewodnictwa twardości wody, wzrost BZT i CHZT, podwyższenie stężeń  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,

Fe<sup>2+</sup>; wzrost stężeń lub pojawienie się mikrośladników As, B, Br, Cd, Co, Cr, Hg, Cu, Mn, Mo, F, Fe, Co, Ni, Pb, Se, Sn, Tl, Zn, U oraz mikrośladników biofilnych [Macioszczyk, Dobrzyński 2002].

### **MIKROSKŁADNIKI WYSTĘPUJĄCE W OSADACH DENNYCH I ROŚLINNOŚCI ZBIORNIKA MŚCIWOJÓW**

W osadach dennych i roślinności zbiornika Mściwojów badano występowanie następujących mikrośladników:

Zn – który występuje w skorupie ziemskiej w formie siarczkowej, związany jest głównie ze słabokwaśnymi granitoidami,

Cd – który często towarzyszy złożom cynku, ale jego obecność związana jest także z zanieczyszczeniami antropogenicznymi,

Mn – jego pierwotnym źródłem są wietrzejące ciemne minerały skał magmowych (augit, hornblenda). Ulega silnej bioakumulacji przez plankton. Występuje w wodach utworów wodnolodowcowych i w utworach rzecznych,

Cu – może występować w skałach osadowych i magmowych, może być również pochodzenia antropogenicznego (ścieki, zanieczyszczenia pyłowe),

Ni – wysokie zawartości występują w strefach zawierających skały ultrazasadowe oraz w zanieczyszczeniach antropogenicznych,

Pb – pochodzi ze złóż galeny lub innych minerałów zawierających ołów, jak również z zanieczyszczeń antropogenicznych (preparaty ochrony roślin, ścieki),

Fe – pierwotnym źródłem żelaza są liczne minerały skał magmowych. Pewne ilości pochodzą z rozkładu substancji organicznej.

Ze względu na występowanie na terenie zlewni zbiornika Mściwojów wychodni skał metamorficznych i magmowych oraz utworów wodnolodowcowych i rzecznych mikroelementy, takie jak: Zn, Mn, Fe są prawdopodobnie pochodzenia geogenicznego.

Natomiast źródłem Cd, Cu, Ni, Pb mogą być zanieczyszczenia antropogeniczne (preparaty ochrony roślin, ścieki).

### **CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PIERWIASTKÓW**

Poniżej zamieszczono charakterystykę wybranych pierwiastków, których stężenia określono w osadach dennych i roślinności szuwarowej zbiornika (Cu, Zn, Pb, Cd).

Niektóre metale są niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych – cynk, miedź – jako mikroelementy. Gdy jednak występują w ilościach nadmiernych mogą działać toksycznie i zaburzać prawidłowe działanie ekosystemu. Do toksycznych należą – kadm, ołów, rtęć.

**Miedź.** W wodach powierzchniowych pochodzi przede wszystkim z zanieczyszczenia ich ściekami przemysłu metalurgicznego lub maszynowego, przerabiającego miedź lub jej związki. Związki miedzi stosuje się m.in. w galvanotechnice oraz jako składniki środków grzybobójczych i owadobójczych, jako pigmenty i katalizatory oraz do zwalczania glonów w wodzie. Jest mikroelementem niezbędnym do życia zarówno dla ludzi, zwierząt i roślin. Dobowe zapotrzebowanie dorosłego człowieka wynosi 5 mg Cu. W większych ilościach związki miedzi są szkodliwe dla zdrowia. Miedź nie kumuluje się w organizmie tak łatwo jak ołów i rtęć, szkodliwe dawki dzienne mogą dochodzić nawet do 100 mg. Wg Światowej Organizacji Zdrowia dopuszczalne stężenie miedzi w wodzie do picia wynosi 1,5 g m<sup>-3</sup>. Polskie normy dopuszczają stężenie 1 g m<sup>-3</sup>. Związki miedzi są bardzo toksyczne dla ryb. Prawodawstwo polskie jako górną granicę stężenia miedzi w wodach śródlądowych uznaje 0,01–0,2 g m<sup>-3</sup> [Dojlido 1995; Van Loon, Duffy 2007].

**Cynk.** Przedostaje się do wód ze złóż bogatych w związki cynku oraz z zanieczyszczeniami pyłowymi lub ściekami przemysłowymi. Związki cynku używane są m.in. do: produkcji farb cynkowych, jako zaprawy w przemyśle farbiarskim, do konserwacji tkanin i skór, jako preparaty ochronne przeciwko pleśniom, jako wypełniacz do mieszanin kauczukowych i mas izolacyjnych, środków dezynfekcyjnych, środków do impregnacji drewna, mikronawozów. Źródłem cynku w wodzie do picia może być korozja rur i urządzeń ocynkowanych [Dojlido 1995; Van Loon, Duffy 2007].

**Ołów.** Występuje powszechnie w skorupie ziemskiej. W skałach magmowych średnie stężenie ołowiu wynosi 12 mg·kg<sup>-1</sup>. Najważniejszym minerałem ołowiu jest galena PbS. Wykorzystywany jest do produkcji pigmentów, farb, akumulatorów, substancji przeciwstukowych dodawanych do benzyny, jako stabilizator przy produkcji PCW, w przemyśle szklarskim i ceramicznym, jako insektycyd. Organiczne związki ołowiu mają zastosowanie jako farby, środki konserwujące drewno, dodatki do smarów, katalizatory, środki antybakteryjne.

Głównym źródłem zanieczyszczenia środowiska ołowiem jest emisja z silników spalinowych. To źródło stanowi 98% całkowitej emisji ołowiu do atmosfery. Stężenie ołowiu w wodach atmosferycznych wynosi zwykle 1–50 µg·dm<sup>-3</sup>, ale na obszarach gęsto zaludnionych może sięgać 1000 µg·dm<sup>-3</sup>.

Do wód powierzchniowych ołów może dostawać się ze ściekami z zakładów chemicznych, kopalń i zakładów przerabiających rudy. W środowisku wodnym przy współdziałaniu mikroorganizmów może zachodzić proces biometrylacji ołowiu.

Stężenie ołowiu w wodach niezanieczyszczonych jest zwykle mniejsze od 3 µg·dm<sup>-3</sup>. Wyższe stężenia ołowiu na ogół występują w pobliżu dróg i miast w wyniku emisji spalin samochodowych.

Rośliny wodne obszarów zanieczyszczonych mogą zawierać znaczne ilości ołowiu, na uprzemysłowionych terenach Niemiec rośliny zawierają



100–5300 mg·kg<sup>-1</sup> suchej masy. W osadach dennych rzek w Polsce wykryto ołów w stężeniach 350–1360 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.[1]. W literaturze nie ma informacji o niezbędności ołowiu do życia organizmów. Jest natomiast dużo doniesień o jego szkodliwości. Wiele soli ołowiu jest nierozpuszczalnych w wodzie i dlatego są one mało szkodliwe dla środowiska wodnego. Bardziej toksyczne są rozpuszczalne formy ołowiu. Ołów zakłóca proces samooczyszczania wód, proces ten jest hamowany już przy stężeniach 100 µg·dm<sup>-3</sup>. W stosunku do roślin wodnych ołów jest mniej toksyczny niż rtęć i miedź. Szkodliwy wpływ ołowiu na rośliny zaobserwowano przy stężeniach większych od 100 µg·dm<sup>-3</sup>. Kumulacja ołowiu w rybach jest mała i dlatego ołów nie stanowi zagrożenia dla ichtiofauny. Dopiero przy wysokich stężeniach, większych od 200 µg·dm<sup>-3</sup> staje się toksyczny dla ryb. Efekt ten jest zależny od twardości wody; przy wyższych twardościach sole ołowiu wytrącają się i nie są toksyczne.

Ołów działa toksycznie na organizm człowieka. Zastępuje on wapń, co może prowadzić do dużych stężeń ołowiu w układzie kostnym. Toksyczne są również organiczne związki ołowiu. Dopuszczalne stężenia ołowiu w wodach powierzchniowych i w wodach do picia w Polsce wynoszą 100 µg·dm<sup>-3</sup> [Dojlido 1995].

**Kadm.** Towarzyszy najczęściej rudom cynku w ilości 1%, a w blendzie cynkowej zawartość kadmu dochodzi do 5%. Kadm jest używany głównie do galwanicznego sporządzania antykorozyjnych powłok ochronnych na wyrobach stalowych.

W wodach źródłem kadmu mogą być ścieki przemysłu chemicznego, fotograficznego, poligraficznego. Występuje w postaci rozpuszczonej lub nierozpuszczonej, w kompleksach organicznych i nieorganicznych, bądź jako pojedyncze jony.

Kadm występuje w wodach zwykle razem z cynkiem, lecz w znacznie mniejszych ilościach. Jest silnie toksyczny i kumuluje się w organizmie, jego toksyczność wzmacnia obecność miedzi i cynku. W organizmie człowieka powoduje anemię, zahamowanie wzrostu, zakłócenie pigmentacji.

Dla niektórych gatunków ryb stężenie kadmu ok. 0,2 g m<sup>-3</sup> jest już toksyczne.

Wg zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia dopuszczalne stężenie kadmu w wodzie do picia wynosi 0,01 g m<sup>-3</sup>. Polskie normy za dopuszczalne uznają stężenie 0,05 g m<sup>-3</sup> [Dojlido 1995; Van Loon, Duffy 2007].

## WYNIKI BADAŃ

– Na podstawie badań laboratoryjnych określono stężenie wytypowanych pierwiastków:

- w osadach dennych zbiornika (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Mn, Fe),
- w roślinności szuwarowej czasy zbiornika (Cu, Zn, Pb, Cd).

### BADANIA OSADÓW DENNYCH ZBIORNIKA

Osady denne są głównym ogniwem obiegu pierwiastków, stanowią ośrodek akumulacji, chemicznych przemian, okresowej dezaktywacji i rozkładu wielu związków toksycznych dostających się do środowiska wodnego. Analiza zawartości metali zakumulowanych w osadach dennych zbiornika wodnego stanowi cenny materiał do opisu źródeł, prędkości oraz dróg dystrybucji metali w zbiorniku i jest podstawą w ustaleniu możliwego powtórnego zanieczyszczenia wód zbiornika.

Próbki osadów pobrano z 10 stanowisk, zlokalizowanych w różnych przekrojach zbiornika Mściwojów (rys. 3).



*dopływ do zbiornika:*

stanowisko 1 - rzeka Wierzbiak,  
stanowisko 2 - rzeka Zimnik

*osadnik:*

stanowisko 3 - komora 1,  
stanowisko 4 - komora 2,  
stanowisko 5 - komora 3,

*zbiornik wstępny:*

stanowisko 6 - komora 1,  
stanowisko 7 - komora 2,  
stanowisko 8 - komora 3,

*zbiornik główny:*

stanowisko 9,

*odpływ ze zbiornika głównego:*

stanowisko 10.

**Rysunek 3.** Stanowiska pomiarowe osadów dennych  
**Figure 3.** Location of the bottom sediment measurement sites

Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1.

Z zestawionych w tabeli wartości wynika, że zbiornik Mściwojów wpływa w znacznym stopniu na zmniejszenie stężeń wszystkich przebadanych metali. Stężenia metali w osadach na dopływach obydwu cieków zasilających zbiornik (stanowisko 1 i 2) były zawsze wyższe od stężenia stężeń tych metali poniżej zbiornika (stanowisko 10) [Wiatkowski i in. 2005].

Zawartość pierwiastków: kadmu i ołowiu w osadzie zbiornika przekracza tło geochemiczne Polski, natomiast zawartość pozostałych metali jest znacznie niższa niż ich zawartość stwierdzona w innych zbiornikach retencyjnych.

**Tabela 1.** Zawartość wybranych metali ciężkich w próbkach osadów dennych zbiornika Mściwojów i jego dopływów – 11.02.2002, [mg kg<sup>-1</sup>] [Wiatkowski i in. 2005]

**Table 1.** Contents of chosen heavy metals in samples of bottom sediments in the Mściwojów Reservoir and in inflows to the reservoir 11.02.2002 [mg · kg<sup>-1</sup>] [Wiatkowski and others 2005]

Stanowisko poboru osadów Sediment sampling	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
Stanowisko/Site 1	3,5	38,5	37,1	37,95	260	645,5	23762
Stanowisko/Site 2	3,5	25,0	19,3	28,38	138	253,0	19658
Stanowisko/Site 3	3,5	13,5	19,3	21,28	42	302,5	20912
Stanowisko/Site 4	4,5	21,0	27,6	26,96	81	619,0	24438
Stanowisko/Site 5	3,0	17,8	18,9	19,51	41	399,5	22168
Stanowisko/Site 6	3,0	53,5	21,5	32,99	58	469,0	23678
Stanowisko/Site 7	3,0	14,5	16,7	18,80	43	264,5	19478
Stanowisko/Site 8	3,2	12,8	18,2	19,33	36	414,8	18305
Stanowisko/Site 9	3,0	14,0	17,1	14,19	40	354,5	23118
Stanowisko/Site 10	3,2	7,8	9,6	12,06	20	239,5	9022

## ZAWARTOŚĆ METALI W ROŚLINACH SZUWAROWYCH

Wodne rośliny naczyniowe pobierają metale i kumulują je w swoich tkankach. Istnieją dwie możliwości wiązania metali przez rośliny:

- w wyniku fizyczno-chemicznej adsorpcji powierzchniowej,
- przez energozależny transport do wnętrza komórki.

Mechanizm pobierania przez rośliny nadmiernych ilości metali ciężkich, tzn. zbędnych do ich rozwoju, wynika w większości przypadków z braku bariery biologicznej, powoduje to bierną i nieselektywną sorpcję. Dlatego w przypadku wielu metali ciężkich stwierdza się prostą zależność między ich udziałem w środowisku a ilością zakumulowaną w roślinach. Według Romanowskiej [2002] zawartość metali ciężkich w roślinach wodnych może przekraczać wielokrotnie ich zawartość w otaczającym środowisku.

Do metali pobieranych biernie przez makrofity należą: kadm, ołów, molibden i nikiel. Jak dotąd nie stwierdzono, by spełniały one jakieś istotne funkcje, a tym samym były potrzebne do rozwoju roślin, choć ich zawartość w roślinach często bywa wysoka. Wodne rośliny wyższe (makrofity) mają w stosunku do niektórych metali ciężkich rozwinięty mechanizm aktywnego (selektywnego) pobierania, dopasowany do potrzeb fizjologicznych. Najczęściej metale pobierane aktywnie, potrzebne są do ich rozwoju, np. miedź, cynk, chociaż i w tych przypadkach stwierdza się zależność między stężeniem w roślinie i w środowisku.

Zawartość metali ciężkich w roślinach wodnych jest sezonowa i zależy od ruchliwości metalu. Metale ruchliwe, jak cynk, mangan i molibden wykazują spadek zawartości w ciągu sezonu wegetacyjnego. Natomiast zawartość w roślinach metali mniej ruchliwych: ołowiu, kadmu i kobaltu nie zmienia się, zaś miedzi, chromu i niklu wyraźnie wzrasta w ciągu sezonu wegetacyjnego.

Główną drogą powrotu metali ciężkich do środowiska jest rozkład obumarłych roślin. Część metali dość szybko zostaje usuwana z tkanek makrofitów, np. mangan. Zawartość innych nie zmienia się istotnie, np. cynku i miedzi, natomiast zawartość niektórych wzrasta w powstającym detrytusie, np. chromu. Powstający z obumarłych roślin detrytus, stanowi dobre podłoże do adsorpcji metali ciężkich, wzbogacając osady denne w metale ciężkie.

Duży udział części podziemnych, intensywny wzrost tych roślin i duża produkcja biomasy na jednostkę powierzchni, jak również szybkie tempo pobierania wody i składników biogennych oraz kumulacja różnych składników w tym metali ciężkich, stanowią duże zalety tych roślin z punktu widzenia ich wykorzystania do poprawy jakości wody powierzchniowej, szczególnie wody stojącej.

Przedmiotem badań terenowych była trzcina pospolita (*Phragmites australis*). Jest to roślina wieloletnia, powszechnie rosnąca na terenie całego kraju. W zbiorniku Mściwojów osiągała do 2,5 m wysokości, miała długie, czołgające się kłacza i bardzo grube, ulistnione i proste źdźbło. Trzcina kwitnie od sierpnia do października. Rozmnaża się przede wszystkim wegetatywnie, przez długie rozłogi oraz fragmentację kłaczy. Pojedyncze kłacza żyją przeciętnie 6 lat i mogą rozrastać się w promieniu 10 metrów (ok. 1 metr rocznie) [Romanowska 2002].

Próbki biomasy pobierano z komór zbiornika wstępnego oraz z osadnika. Wyniki badań zawartość metali ciężkich w suchej masie trzciny pospolitej przedstawiono w tabeli 1 i 2.

**Tabela 2.** Średnie zawartości metali ciężkich w suchej masie trzciny pospolitej – zbiornik wstępny [Romanowska 2002]

**Table 2.** Mean contents of heavy metals in dry mass of reed (*Phragmites australis*) – pre-dam reservoir [Romanowska 2002]

Miesiąc Month	Miejsce pobrania Site location	Biomasa naziemna Surface biomass			
		Cu	Zn	Pb	Cd
mg/100 g s.m. mg/100 g of dry mass					
Lipiec /July	II komora zbiornika wstępnego  II chamber of pre-dam	3,08	3,70	0,023	0,0030
Sierpień/ August		2,88	3,58	0,028	0,0030
Wrzesień/September		1,88	1,58	0,028	0,0030
Październik/October		1,83	1,58	0,033	0,0033
Listopad/November		1,70	1,30	0,058	0,0039
Grudzień/December		1,70	1,08	0,060	0,0040
Styczeń/January		1,53	0,98	0,098	0,0043

**Tabela 3.** Średnie zawartości metali ciężkich w suchej masie trzciny pospolitej – osadnik [Romanowska 2002]

**Table 3.** Mean contents of heavy metals in dry mass of reed (*Phragmites australis*) – settlement tank [Romanowska 2002]

Miesiąc Month	Miejsce pobrania Site location	Biomasa naziemna Surface biomass				
		Cu	Zn	Pb	Cd	
		mg/100 g s.m. mg/100 g of dry mass				
Lipiec /July	II komora osadnika II chamber of settlement tank	2,20	1,63	0,022	0,0015	
Sierpień/ August		2,10	1,48	0,025	0,0015	
Wrzesień/September		1,50	1,28	0,028	0,0020	
Październik/October		1,43	1,17	0,035	0,0020	
Listopad/November		1,43	0,75	0,037	0,0023	
Grudzień/December		0,95	0,70	0,045	0,0023	
Styczeń/January		0,85	0,65	0,055	0,0023	
Grudzień/December			Biomasa podziemna/Underground biomass			
		2,85	2,60	0,065	0,0023	

Wyniki badań biomasy pobranej ze zbiornika w Mściwojowie wykazały, że makrofity biorą znaczący udział w poprawianiu jakości wody w zbiorniku. Maksimum pobierania makroelementów przypada na początek wegetacji roślin.

### WNIOSKI

1. Badania wykonane na terenie zbiornika Mściwojów wykazały, że zbiornik w znacznym stopniu wpływa na zmniejszenie stężeń wszystkich przebadanych metali ciężkich.
2. Ze względu na występowanie w zlewni zbiornika wychodni skał metamorficznych i magmowych, utworów wodnolodowcowych i rzecznych pochodzenie takich mikroelementów, jak: Zn, Mn, Fe jest prawdopodobnie geogeniczne.
3. Źródłem Cd, Cu, Ni, Pb są w głównej mierze zanieczyszczenia antropogeniczne (preparaty ochrony roślin, ścieki).
4. Zawartość pierwiastków Cd i Pb w osadach dennych obiektu przekracza wartość tła geochemicznego dla Polski.
5. Zawartość pozostałych metali (Cu, Zn Ni, Mn) jest znacznie niższa w porównaniu z ich zawartością stwierdzoną w innych zbiornikach. Wskazuje to na brak znacznych źródeł zrzutów ścieków przemysłowych.
6. Makrofity biorą znaczący udział w poprawianiu jakości wody w zbiorniku. Maksimum pobierania mikroelementów przypada na początek wegetacji roślin.

7. Wyniki badań zawartości metali ciężkich w osadach dennych i biomase zbiornika „Mściwojów” służą jako tło zanieczyszczeń do dalszych badań środowiskowych, wskazują na potrzebę monitoringu geochemicznego na tym obiekcie.

### BIBLIOGRAFIA

- Dojlido J. R. *Chemia wód powierzchniowych*. WEiŚ. Białystok 1995.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D. *Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany*. PWN, Warszawa 2002.
- Przyłuski L. *Mapa hydrogeologiczna Polski*. Arkusz Wałbrzych, Wyd. Geol. Warszawa 1984.
- Szczawiński W. *Mapa geologiczna Polski*. Arkusz Wałbrzych, A – Mapa utworów powierzchniowych. Wyd. Geol., Warszawa 1981.
- Szczawiński W. *Mapa geologiczna Polski*. Arkusz Wałbrzych, B – Mapa bez utworów czwartorzędowych. Wyd. Geol., Warszawa 1981.
- Romanowska W. *Redukcja związków azotu i fosforu w zbiorniku wstępnym Mściwojów*. AR Wrocław 2002, praca dyplomowa.
- Szałamacha M., Szałamacha J. *Objaśnienia do mapy geologicznej Polski*. Arkusz Wrocław. PiG, Warszawa 1996.
- Wiatkowski M., Czamara W., Gałka B. *Metale ciężkie w osadach dennych zbiornika małej retencji Mściwojów*. Monografia: Obieg pierwiastków w przyrodzie. IOŚ, Warszawa 2005.
- Wiatkowski M., Czamara W., Kuczewski K. *Wpływ zbiorników wstępnych na zmiany jakości wód retencjonowanych w zbiornikach głównych*. IPIŚ PAN, Zabrze 2006.
- Van Loon G. W., Duffy S. J. *Chemia Środowiska*. PWN. Warszawa. 2007.

Prof. dr hab. Alicja Czamara,  
Prof. dr hab. Włodzimierz Czamara,  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
50-363 Wrocław, Pl. Grunwaldzki 24  
e-mail: Alicja.Czamara@up.wroc.pl;  
Włodzimierz.Czamara@up.wroc.pl;

Recenzent: Prof. dr hab. Antoni Miler