

WPLYW ZABUDOWY KASKADOWEJ
NA ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH
W OSADACH DENNYCH KANAŁU GLIWICKIEGO

MACIEJ KOSTECKI

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

Keywords: bottom sediments, heavy metals, cascade-building.

THE EFFECT OF CASCADE-BUILDING ON THE HEAVY METALS
CONTENT IN BOTTOM SEDIMENTS OF GLIWICE CHANNEL

The results of the first (since 1939) investigation of Gliwice Channel have been presented. The concentrations of mobile and constant forms of heavy metals in the bottom sediments have been given. The changes range was: for chromium 4.8–463.2 mg Cr/kg, for cadmium 0.6–18.2 mg Cd/kg, for lead 4–197 mg Pb/kg, for cupric 6–2152 mg Cu/kg, for manganese 33–1664 mg Mn/kg, for nickel 5–85.2 mg Ni/kg, for zinc 64–2244 mg Zn/kg, for iron 2080–94080 mg Fe/kg.

The percent participation of stable forms of chromium decreases during longitude profile of canal whereas participation of mobile forms is increases. The stable and mobile forms of cadmium (Cd) increase. The concentrations of stable and mobile form of lead (Pb) decrease. The percent participation of stable forms of copper (Cu) is high (82–100%). On total longitude of canal the participation of mobile forms of manganese (Mn) increases, but stable forms have advantage. For nickel (Ni) the stable forms are prevail too (form 55% to 81%). The participation of mobile forms of zinc (Zn) is 18% to 60%.

The sharply outlined relationship between metals and organic matter concentrations indicates the significance in the metals transport processes from water to bottom sediments. Consequently, pollution of bottom sediments by heavy metals is the secondary result of organic substances of water enrichment. The relationships between total metals and iron (Fe) concentration points to the role of heavy metals stable amalgamations with amorphous ferric oxides.

The cascade character and pulsatory water flow of Gliwice Channel makes the concentrations of heavy metals in bottom sediments successfully decrease in each canal section. At the same time, in each section of the canal gradual increase in metals concentration occurs and the maximum values for all determined metals are present just before sluices closing sections.

The best ecological effect, from the economical point of view, is obtained by bottom sediment removal on the about 1 km sectors over each of the sluice.

Streszczenie

Przedstawiono wyniki, pierwszych od 1939 roku, badań Kanału Gliwickiego. Stężenia metali w osadach dennych odzwierciedlają przemysłowy charakter zlewni rzeki Kłodnicy zasilającej kanał. Zakres zmian stężeń wynosił: dla chromu 4,8–463,2 mg Cr/kg, dla kadmu 0,6–18,2 mg Cd/kg, dla ołowiu 4–197 mg Pb/kg, dla miedzi 6–2152 mg Cu/kg, dla manganu 33–1664 mg Mn/kg, dla niklu 5–85,2 mg Ni/kg, dla cynku 64–2244 mg Zn/kg, dla żelaza 2080–94080 mg Fe/kg.

Obserwowano zależność pomiędzy stężeniem metali a zawartością substancji organicznej w osadach dennych, wskazującą na jej istotną rolę w wiązaniu metali. Przechodzenie metali ciężkich do osadów może być zatem wtórnym skutkiem wzbogacania wody w substancje organiczne. Także zależność pomiędzy sumą stężeń oznaczanych metali a zawartością dominującego żelaza może świadczyć o roli amorficznych tlenków żelaza w wiązaniu metali ciężkich.

Kaskadowy charakter kanału i pulsacyjny przepływ wody powodują, że zawartość metali ciężkich w osadach dennych zmniejsza się skokowo w następujących po sobie kolejnych sekcjach kanału. Jednocześnie na długości każdej z sekcji kanału następuje stopniowy wzrost stężeń metali, a wartości maksymalne występują na stanowiskach tuż przed śluzami zamykającymi sekcje. Największy efekt ekologiczny można uzyskać usuwając osady denne z dna kanału na odcinkach o długości około 1 km powyżej każdej ze śluz.

WPROWADZENIE

Kaskada Kanału Gliwickiego składa się z sześciu sekcji o łącznej długości 42 km (tab. 1), tworzy ona wraz ze zbiornikami Dzierżno Duże (650 ha), Dzierżno Małe (110 ha) oraz Pławniowice (225 ha) tzw. Zachodni Węzeł Wodny GOP. Jest on odbiornikiem wód odpływających z tych zbiorników. Zasilany wodą zanieczyszczoną rzeki Kłodnicy przyjmuje duży ładunek zanieczyszczeń pochodzących ze ścieków komunalnych i przemysłowych, w tym także zasolonych wód kopalnianych [3–6].

Tab. 1. Podstawowe parametry sekcji Kanału Gliwickiego
The background parameters of Gliwice Channel section

	Sekcja Section	Długość [km] Longitude [km]	Śluza Flood-gate	Spad [m] Head [m]
0	Odra – Kłodnica	3,6	Kłodnica	10,40
I	Kłodnica – Nowa Wieś	4,2	Nowa Wieś	6,20
II	Nowa Wieś – Sławięcice	7,3	Sławięcice	6,25
III	Sławięcice – Rudziniec	6,5	Rudziniec	6,25
IV	Rudziniec – Dzierżno	9,3	Dzierżno	10,30
V	Dzierżno – Łabędy	7,6	Łabędy	4,20
VI	Łabędy – Port Gliwice	2,7		

Na terenach gęsto zaludnionych i silnie uprzemysłowionych wzbogacanie osadów dennych ekosystemów wód powierzchniowych w metale ciężkie następuje wskutek ich wprowadzania z zanieczyszczonymi wodami cieków zasilających oraz jako zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego [2, 6–8]. Pro-

cesy wzbogacania osadów w metale związane są głównie z procesami sorpcji i wytrącania, które zależą głównie od odczynu środowiska, potencjału redox, stężenia metali, a także od kompleksu sorpcyjnego poszczególnych frakcji uziarnienia osadów. Szczególnie ważnym procesem jest wiązanie metali z substancją organiczną, uwodnionymi tlenkami Fe – Mn oraz minerałami ilastymi oraz węglanami [9, 10].

Z uwagi na toksyczne właściwości soli niektórych metali ciężkich, już niewielka ich ilość może szkodliwie oddziaływać na organizmy żyjące w osadach dennych [2, 3, 10].

Kanały wodne służące jako drogi transportu wodnego wymagają stałej konserwacji, w tym – poza remontami jazów, śluz itp. – usuwania gromadzących się osadów dennych. Osady te wymagają utylizacji, która w przypadku nadmiernych ilości metali ciężkich może napotykać na trudności.

W latach 1999–2000 przeprowadzono pierwsze od chwili utworzenia w 1939 r. badania stopnia zanieczyszczenia Kanału Gliwickiego [7]. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań nad zanieczyszczeniem osadów dennych kanału metalami ciężkimi.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie zawartości metali ciężkich w osadach dennych Kanału Gliwickiego, sklasyfikowanie ich na tej podstawie oraz wskazanie możliwości, sposobu i zakresu ich wykorzystania po usunięciu z kanału. Celem badań było także określenie trwałości ich połączeń z frakcjami osadów dennych.

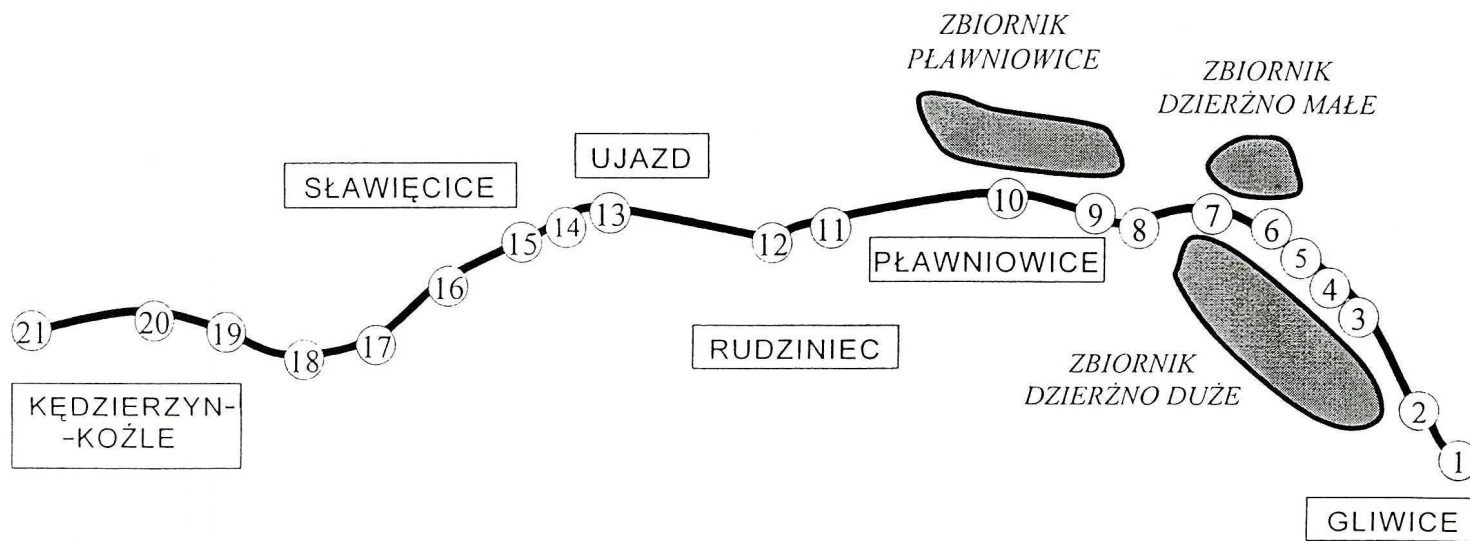
METODYKA BADAŃ

PUNKTY POBORU PRÓB

W celu zbadania zawartości zanieczyszczeń w osadach dennych pobrano próbki w 21 punktach, rozmieszczonych wzdłuż osi kanału (rys. 1). Do poboru prób używano czerpacza Eckmanna. Osady pobierano z powierzchniowej, 10-cm warstwy osadów. Na każdym stanowisku pobierano 5 próbek o jednakowej objętości, które następnie dokładnie mieszano w celu uśrednienia. W osadach oznaczano – z uwzględnieniem siedmiu faz specjacyjnych – stężenia: chromu, cynku, kadmu, miedzi, manganu, ołowiu.

METODYKA ANALITYCZNA

Metale ciężkie związane z cząstkami osadów dennych zbiorników wodnych występują na ogół w pięciu zasadniczych formach połączeń, tj. są zaadsorbowane na powierzchni cząstek mineralnych osadu, jako wytrącone z wody w postaci wodorotlenków i węglanów, współwytrącone z uwodnionymi tlenkami żelaza i manganu, związane z substancją organiczną oraz minerałami



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów poboru prób wzdłuż Kanału Gliwickiego
 Localization of sampling points

ilastymi. Jednocześnie mały udział metali ciężkich w poszczególnych fazach i często amorficzny charakter ich połączeń powodują, że są one niewykrywalne dostępnymi metodami fazowymi [2, 9].

Określenie przybliżonych form chemicznego związania metali ciężkich w osadach i glebach możliwe jest dzięki zastosowaniu metody wielostopniowej, selektywnej ekstrakcji chemicznej. W niniejszej pracy posłużono się 6-stopniową ekstrakcją, zaproponowaną przez Tessiera [10], a zmodyfikowaną przez Calmano i Forstnera [1], którą prowadzi się według następującego schematu:

- Stopień 0 – ekstrakcja metali występujących w wodzie porowej (interstycjalnej),
- Stopień 1 – ekstrakcja metali występujących na pozycjach wymiennych,
- Stopień 2 – ekstrakcja metali związanych z węglanami,
- Stopień 3 – ekstrakcja metali związanych z tlenkami manganu i amorficznymi tlenkami żelaza (faza słabo redukowalna),
- Stopień 4 – ekstrakcja metali związanych z amorficznymi i słabo krystalicznymi tlenkami żelaza (faza średnio redukowalna),
- Stopień 5 – metale związane z substancją organiczną i siarczkami,
- Stopień 6 – ekstrakcja metali związanych z krzemianami i krystalicznymi tlenkami żelaza (residuum).

W otrzymanych po każdym stopniu ekstrakcji roztworach oznaczano zawartość metali ciężkich. Frakcje od 0 do 2 stanowią połączenia mobilne, frakcje od 3 do 6 połączenia trwałe. Należy zaznaczyć, że jakkolwiek węglany metali ciężkich są nierozpuszczalne w środowisku obojętnym i zasadowym, to jednak w środowisku kwaśnym, powstającym w warunkach beztlenowych przechodzą do wody, w związku z czym zalicza się je do form mobilnych.

Z danych literaturowych wynika, że ekstrakcja wielostopniowa nadaje się do badania zachowania się metali ciężkich pochodzenia antropogenicznego w środowisku glebowym i wodnym. [1, 2, 9, 10].

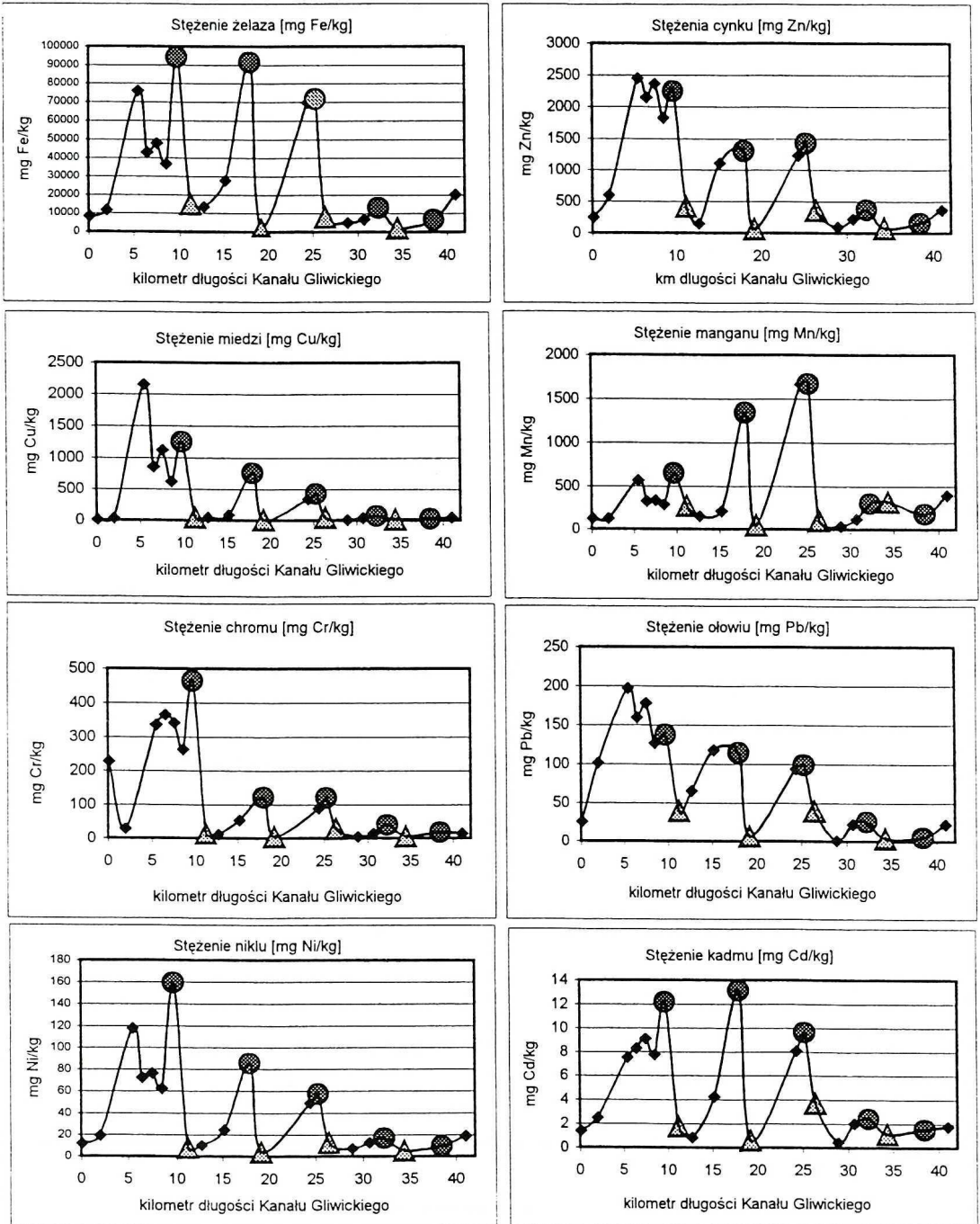
WYNIKI BADAŃ

Ogólne stężenia oznaczonych metali ciężkich oraz stężenia ich mobilnych i trwałych połączeń z frakcjami osadów dennych przedstawiono w funkcji długości koryta kanału (rys. 2 i 3).

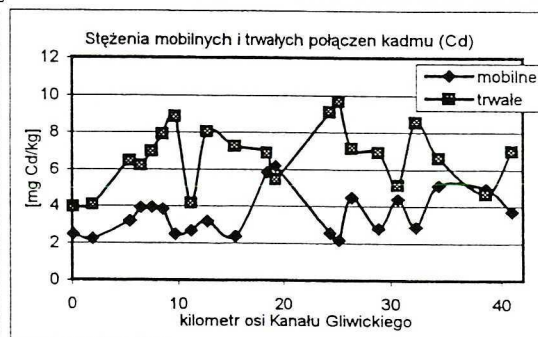
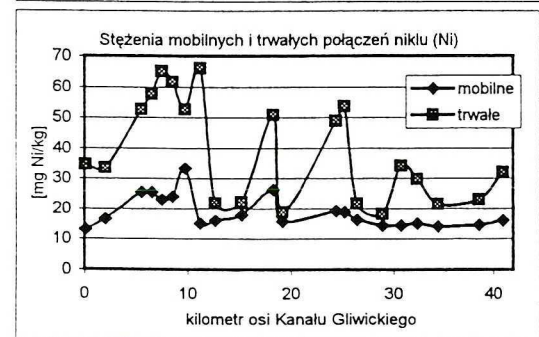
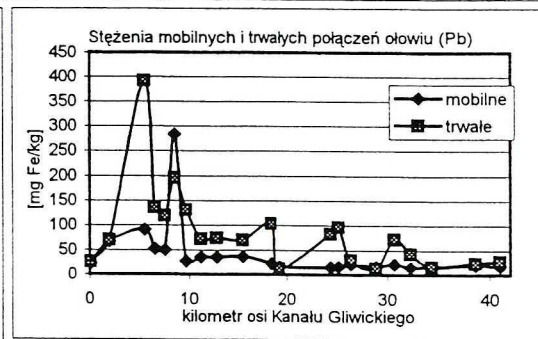
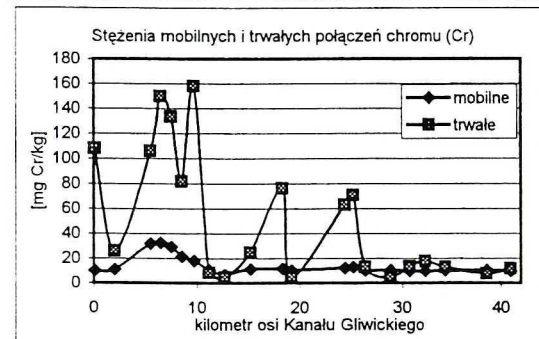
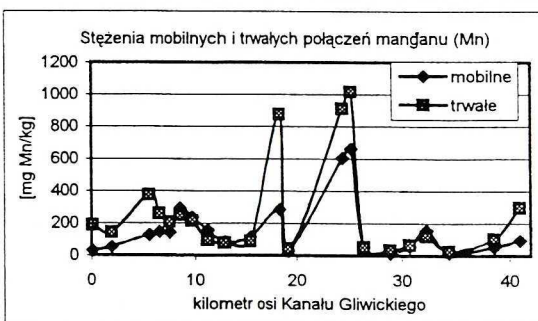
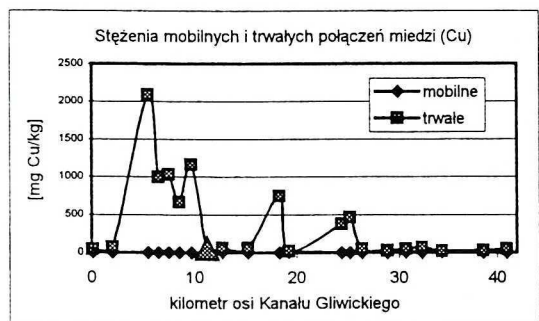
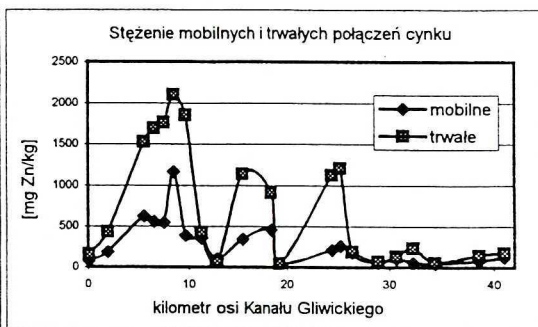
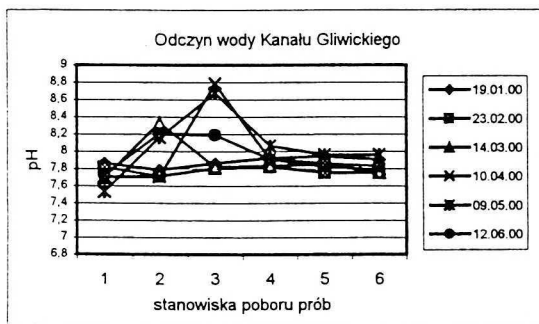
Chrom (Cr)

Zawartość chromu (Cr) w osadach dennych zmieniała się od 4,8 mg Cr/kg do 463,2 mg Cr/kg. Najwyższe stężenia stwierdzono na odcinku od miejsca ujęcia wód rzeki Kłodnicy do Portu w Gliwicach (km 0), do 9,7 km osi Kanału Gliwickiego, tj. do stanowiska nr 7, usytuowanego powyżej śluzy w Dzierźnie. Na tym odcinku stężenie chromu wzrastało od 227 mg Cr/kg do 463,2.

Poniżej śluzy w Dzierźnie ponownie zanotowano niskie stężenie chromu, wynoszące 14 mg Cr/kg. Następnie na odcinku od 11,2 km do 18,2 km



Rys. 2. Ogólne stężenia metali ciężkich w osadach dennych Kanalu Gliwickiego
 The total concentrations of heavy metals in bottom sediments of Gliwice Channel



Rys. 3. Stężenia mobilnych i trwałych połączeń metali ciężkich w osadach dennych Kanalu Gliwickiego
 The concentrations of mobiles and stables heavy metals forms in bottm sediments of Gliwice Channel

(przed śluzą w Rudzińcu) stwierdzono stopniowy wzrost stężeń chromu do 120,8 mg Cr/kg.

W osadach dennych poniżej śluzy w Rudzińcu ponownie zauważono, że stężenie chromu jest niskie i wynosi 4,8 mg Cr/kg. Od tego stanowiska (km 19,2) aż do km 25,2 zanotowano kolejny odcinek, na którym stężenie chromu stopniowo wzrastało, osiągając 120,4 mg Cr/kg przed śluzą w Sławięcicach.

W osadach na stanowisku nr 15 (km 26,4 – za śluzą, w Sławięcicach) stężenie chromu wynosiło 28,8 mg Cr/kg. Stopniowo wzrastając osiągnęło 40 mg Cr/kg na stanowisku nr 18, tj. przed śluzą w Nowej Wsi. Poniżej tej śluzy stwierdzono 6,0 mg Cr/kg. Od km 34,4 (poniżej śluzy w Nowej Wsi) do ostatniego stanowiska (nr 21 – 41 km osi Kanału Gliwickiego) w Porcie w Koźlu stężenie chromu wzrosło do 13,6 mg Cr/kg.

Kadm (Cd)

Rozkład stężeń kadmu w osadach dennych wzdłuż osi kanału był podobny do rozmieszczenia chromu. Od ujęcia wód Kłodnicy (stanowisko nr 1) do stanowiska nr 7 (powyżej śluzy w Dzierźnie), stężenie kadmu wzrosło od 6,2 mg Cd/kg do 12,2 mg Cd/kg. Poniżej śluzy w Dzierźnie zanotowano spadek stężenia do 1,8 mg Cd/kg. Na odcinku od km 11,2 do km 18,2 (przed śluzą w Rudzińcu) zanotowano kolejny wzrost stężenia z 1,8 mg Cd/kg do 13,1 mg Cd/kg. Poniżej tej śluzy stwierdzono kolejny raz wyraźny spadek stężenia do 0,6 mg Cd/kg.

Od km 19,2 do km 25,2 osi Kanału Gliwickiego, tj. do stanowiska przed śluzą w Sławięcicach, stężenie kadmu w osadach dennych wzrosło z 0,6 mg Cd/kg do 9,6 mg Cd/kg. Poniżej śluzy stwierdzono 3,7 mg Cd/kg. Od tego miejsca do stanowiska przed śluzą w Nowej Wsi stężenie kadmu wzrosło ponownie z 0,4 mg Cd/kg do 2,4 mg Cd/kg.

Za śluzą kolejny raz stwierdzono niższe stężenie, tj. 1,2 mg Cd/kg i kolejny odcinek, na którym stężenie tego metalu, jakkolwiek już nieznacznie, ale w stopniu zauważalnym wzrosło do 1,8 mg Cd/kg.

Ołów (Pb)

Stężenie ołowiu zmieniało się od 4 mg Pb/kg do 197 mg Pb/kg. Osady denne kanału na odcinku od km 0 do km 9,7, tj. od ujęcia wód Kłodnicy do portu w Gliwicach do stanowiska przed śluzą w Dzierźnie, charakteryzowały się najwyższymi stężeniami ołowiu. Najniższe stężenia stwierdzono na km 28,9, tj. w okolicach Blachowni.

Poniżej śluzy w Dzierźnie nastąpiło obniżenie stężenia ołowiu do 40 mg Pb/kg, po czym stopniowo wskaźnik ten wzrastał do 114 mg Pb/kg powyżej śluzy w Rudzińcu. Poniżej tej śluzy ponownie zanotowano spadek wartości do 6 mg Pb/kg, a następnie stopniowy wzrost do 99 mg Pb/kg przed śluzą w Sławięcicach. Na km 28,9 stężenie ołowiu wynosiło 0,4 mg Pb/kg, natomiast do km 32,3, tj. do stanowiska przed śluzą w Nowej Wsi wzrosło do 25 mg Pb/kg. Podobnie na odcinku od Nowej Wsi do portu w Koźlu stężenie omawianego wskaźnika wzrastało od 4 mg Pb/kg do 22 mg Pb/kg.

Miedź (Cu)

Stężenie miedzi w osadach dennych na całej długości Kanału Gliwickiego zmieniało się od 6 mg Cu/kg do 2152 mg Cu/kg. Na pierwszych dwóch stanowiskach stężenie miedzi w osadach było niewielkie, 6 mg Cu/kg i 29 mg Cu/kg. Natomiast na stanowisku nr 3, poniżej zakładów BUMAR-Łabędy zanotowano najwyższą ze stwierdzonych wartości, tj. 2152 mg Cu/kg. Osady na odcinku od km 5,5 do km 9,7 charakteryzowały się najwyższymi stężeniami miedzi.

Poniżej śluzy w Dzierźnie nastąpiło obniżenie stężenia do 43 mg Cu/kg, a następnie stopniowy wzrost do 756 mg Cu/kg na stanowisku przed śluzą w Rudzińcu. Poniżej tej śluzy kolejny raz stwierdzono niskie stężenie, wynoszące 10 mg Cu/kg.

Na odcinku od śluzy w Rudzińcu do stanowiska przed śluzą w Sławięcicach ponownie obserwowano stopniowy wzrost zawartości miedzi w osadach, z 10 mg Cu/kg do 420 mg Cu/kg, po czym poniżej śluzy w Sławięcicach obniżenie do 10 mg Cu/kg. Następnie stężenie tego metalu stopniowo wzrastało do 69 mg Cu/kg (przed śluzą Nowa Wieś), aby obniżyć się do 14 mg Cu/kg poniżej śluzy. Na stanowisku końcowym (Port w Koźlu) stężenie miedzi wynosiło 44 mg Cu/kg.

Mangan (Mn)

Zakres stężeń manganu w osadach dennych kanału wynosił od 33 mg Mn/kg do 1664 mg Mn/kg. Rozkład przestrzenny stężeń manganu w osadach dennych kanału był odmienny od rozkładów poprzednio opisywanych metali.

Najwyższe wartości stężeń stwierdzono na odcinku od km 18,2 (przed śluzą w Rudzińcu) do 25,2 (przed śluzą w Sławięcicach). Należy sądzić, że może to być rezultatem odprowadzania do kanału ścieków z pobliskiej fermy hodowlanej.

Na pierwszym odcinku kanału, od stanowiska nr 1 do stanowiska nr 7, stężenia zamykały się w granicach od 118 mg Mn/kg do 644 mg Mn/kg. Na odcinku końcowym (od km 26,4 do km 41) od 98 mg Mn/kg do 396 mg Mn/kg.

Cynk (Zn)

Przedstawiony na wykresie rozkład stężeń jest bardzo podobny do rozkładu stężeń kadmu. Odcinek o najwyższych stężeniach tego metalu, od 596 mg Zn/kg do 2444 mg Zn/kg, w osadach dennych rozciąga się od km 5,5 do km 9,7.

Poniżej śluzy w Dzierźnie stężenie cynku obniżyło się z 2244 mg Zn/kg do 420 mg Zn/kg. Do następnej śluzy w Rudzińcu stężenie cynku w osadach stopniowo wzrastało do 1300 mg Zn/kg. Poniżej tej śluzy ponownie zanotowano niższe stężenie wynoszące 64 mg Zn/kg, po czym przed śluzą w Sławięcicach stężenie wyraźnie wyższe, bo aż 1424 mg Zn/kg.

Kolejny odcinek, na którym obserwowano wzrost stężenia z 91 mg Zn/kg do 362 mg Zn/kg, to odcinek od km 28,9 do km 32,3, tj. do stanowiska przed śluzą w Nowej Wsi.

Na odcinku od tej śluzy do portu w Koźlu także następował wzrost stężeń z 79 mg Zn/kg do 363 mg Zn/kg.

Żelazo (Fe)

Pod względem wielkości stężeń żelazo dominowało w osadach dennych. Zakres stężeń wynosił od 2080 mg Fe/kg do 94080 mg Fe/kg. Także w przypadku żelaza zauważalna jest prawidłowość polegająca na wzroście stężenia na poszczególnych odcinkach pomiędzy śluzami i spadkiem stężeń poniżej śluz.

Nikiel (Ni)

Najwyższe stężenia niklu w osadach występowały na odcinku pierwszym, do km 9,7, tj. do śluzy w Dzierżnie. Kolejny odcinek, na którym stężenie wzrastało, obejmował kilometry od 11,2 do 18,2, gdzie stężenie niklu w osadach wynosiło 85,2 mg Ni/kg.

Następny odcinek od śluzy w Rudzińcu do śluzy w Sławięcicach także charakteryzował się stopniowym wzrostem stężeń niklu z 8 mg Ni/kg do 85,2 mg Ni/kg. Także na odcinku do następnej śluzy stężenie tego metalu w osadach wzrastało z 4 mg Ni/kg do 57,2 mg Ni/kg. Prawidłowość ta została zachowana także na końcowych odcinkach, tj. do śluzy w Nowej Wsi, a następnie do portu w Koźlu. Na tych odcinkach stężenie niklu wzrastało z 6 mg Ni/kg do 16 mg Ni/kg oraz z 5 mg Ni/kg do 18,4 mg Ni/kg.

FORMY METALI CIĘŻKICH W OSADACH

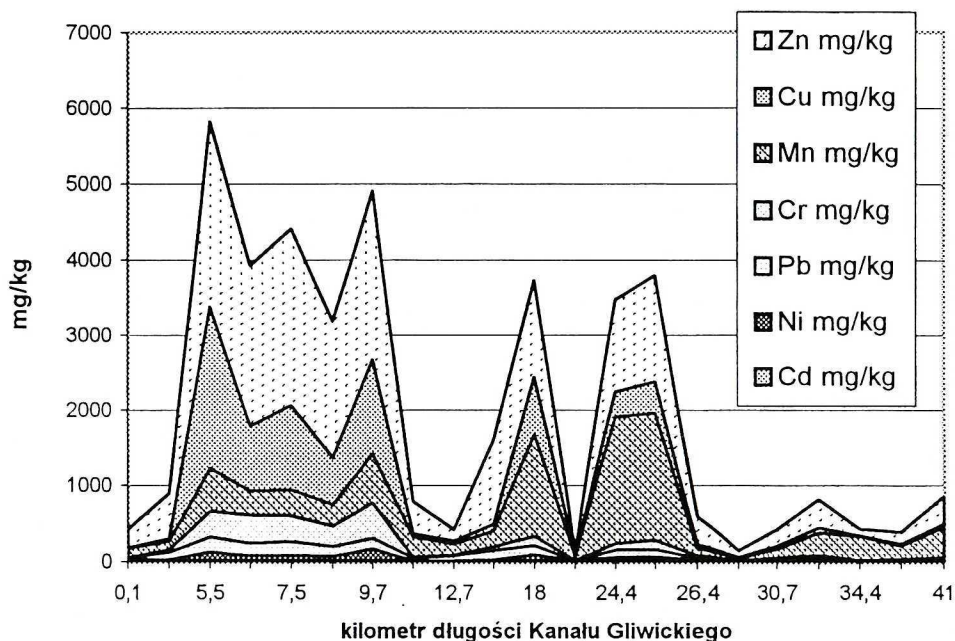
Wyniki badań wskazują na charakterystyczne rozmieszczenie metali ciężkich wzdłuż koryta kanału (rys. 4). Ogólną zasadą jest zmniejszanie się stężeń od stanowiska nr 1 (ujęcia wody rzeki Kłodnicy na jazie powyżej portu w Gliwicach) do stanowiska końcowego (port w Koźlu). Jednocześnie na tle tendencji malejących stężeń metali, obejmującej całą długość kanału zauważalny jest wzrost stężeń na każdym z odcinków między kolejnymi śluzami. Przebieg ten przypomina piłę o malejących zębach. Patrząc w kierunku przepływu wody, przed każdą ze śluz tworzących sekcje Kanału Gliwickiego w osadach dennych stężenie metali ciężkich jest wyższe aniżeli na początku poszczególnych sekcji (rys. 2).

Uwalnianie metali z osadów może zachodzić w środowisku niskiego odczynu (poniżej $\text{pH} = 6,5$) oraz przy całkowitym braku tlenu w wodzie. Na rys. 3 przedstawiono stężenia mobilnych oraz trwałych połączeń metali ciężkich w osadach dennych kanału. Celem wyróżnienia tzw. frakcji mobilnych i trwałych było określenie zagrożenia dla środowiska ze strony potencjalnych możliwości uwalniania poszczególnych metali z osadów dennych.

W przypadku cynku zmiany stężeń zarówno mobilnych, jak i trwałych frakcji zachowują tendencję spadkową na całej długości kanału. Przebieg zmian tych frakcji jest podobny. Udział frakcji mobilnych cynku wynosił od 18 do 60%.

W przypadku miedzi zdecydowanie przeważały na całej długości kanału frakcje trwałe. Ich udział wynosił od 82 do 100% całkowitej ilości miedzi w osadach dennych.

Zarówno trwałe, jak i mobilne frakcje stężenia manganu na odcinku od stanowiska 11 do stanowiska 14, tj. od km 18,3 (przed śluzą w Rudzińcu)



Rys. 4. Rozmieszczenie metali ciężkich wzdłuż koryta Kanału Gliwickiego
The distribution of heavy metals on longitude profile of Gliwice Channel

do km 15,2 (przed śluzą w Sławięcicach) są znacznie wyższe niż na pozostałych stanowiskach pomiarowych. Przeciętne stężenie obu frakcji wynosi po około 100 mg Mn/kg, natomiast na wspomnianym odcinku wzrasta do około 800–1000 mg Mn/kg. Przyczyn tego należy upatrywać w zanieczyszczeniu wody kanału ściekami gospodarczymi.

Prawie na całej długości kanału w osadach dennych dominują trwałe formy manganu. Jednak zauważyć można, że od stanowiska nr 1 do stanowiska nr 8, tj. od km 0 do km 11,2 udział form mobilnych manganu systematycznie wzrasta, a jednocześnie równie widoczna jest tendencja spadkowa stężeń form trwałych. Na wspomnianym wyżej odcinku od km 18,3 (przed śluzą w Rudzińcu) do km 15,2 (przed śluzą w Sławięcicach) obserwuje się nagłe załamanie tej tendencji. Spada udział form mobilnych z 58 do 24%, a zatem bardzo znacznie. Wzrasta w tym momencie udział form trwałych z 42 do 76%. Wskazuje to na prawdopodobieństwo zrzutu ścieków komunalnych lub hodowlanych.

Ponownie tendencję wzrostową udziału form mobilnych manganu widać na odcinku od stanowiska nr 11 do stanowiska nr 15. Po kolejnym załamaniu na stanowisku nr 16 tendencja ta uwidacznia się na odcinku od stanowiska 16 do stanowiska 18. Należy zatem wnioskować, że na terenie kanału występują czynniki sprzyjające przechodzeniu form trwałych w mobilne i odwrotnie. Zaważalne jest to na przykładzie rozkładu mobilnych i trwałych form chromu. Stężenia form trwałych, najwyższe na początkowych stanowiskach pomiaro-

wych, obniżają się wzdłuż osi kanału. Natomiast stężenia form mobilnych, znacznie niższe, są bardzo wyrównane. Jednakże udział form trwałych chromu zmniejsza się wzdłuż osi kanału, form mobilnych zaś systematycznie wzrasta z 8 do 60%.

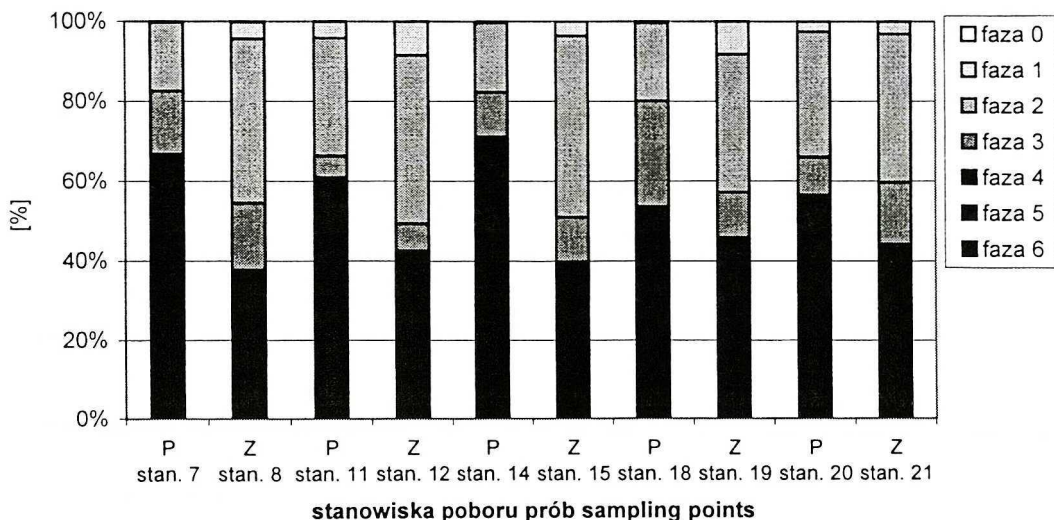
Zmniejszanie się stężeń trwałych i mobilnych frakcji ołowiu w osadach dennych kanału widoczne jest na całej jego długości, od stanowiska nr 1 do stanowiska nr 21. Jednocześnie na stanowiskach przed śluzami udział mobilnych połączeń ołowiu jest zdecydowanie mniejszy, niż poniżej śluz (rys. 3).

Frakcje trwałe niklu zdecydowanie dominują w osadach dennych kanału na całej jego długości. Zakres zmian stężeń frakcji trwałych jest znacznie większy (od 20 mg do 68 mg Ni/kg) niż frakcji mobilnych, od 12 mg do 32 mg Ni/kg. W przypadku frakcji trwałych tendencja spadkowa wzdłuż osi kanału jest bardzo wyraźna. Stężenia frakcji mobilnych są natomiast wyraźnie wyrównane i z biegiem kanału obniżają się nieznacznie.

Także analiza zmian udziału obu frakcji niklu w jego całkowitej zawartości, w osadach dennych wykazuje, że dominują tu formy trwałe, od 55 do 81%, nad formami mobilnymi.

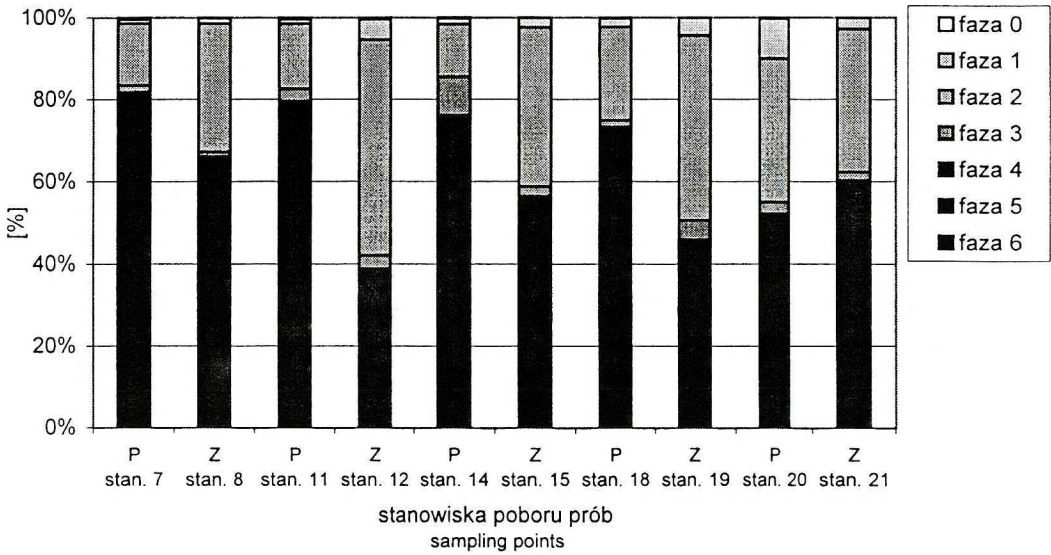
W przypadku kadmu zarówno stężenia trwałych, jak i mobilnych frakcji tego metalu wykazują nieznaczną tendencję wzrostową. Na szczególną uwagę zasługuje odcinek między stanowiskami 10 i 12, na którym nastąpił wyraźny wzrost stężenia form mobilnych.

Analiza rozkładu przestrzennego poszczególnych siedmiu frakcji specyjalnych wykazała (5–11), że udział frakcji mobilnych w osadach dennych poniżej śluz jest wyraźnie wyższy aniżeli powyżej. Jest to szczególnie wyraźne w przypadku chromu, cynku i ołowiu (rys. 5–7). Należy zwrócić uwagę, że w przy-



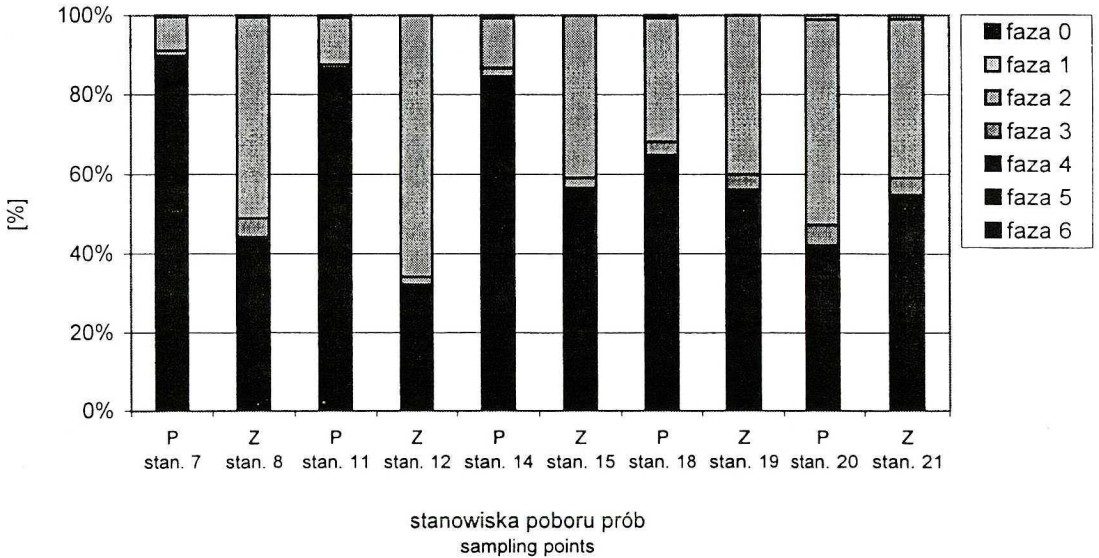
Rys. 5. Udział procentowy specyjalnych form cynku (Zn) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of speciation forms of zinc (Zn) in the bottom sediments of Gliwice Channel, before (P) and after (Z) sluices



Rys. 6. Udział procentowy specyjalnych form ołowiu (Pb) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of speciation forms of lead (Pb) in the bottom sediments of Gliwice Channel, before (P) and after (Z) sluices

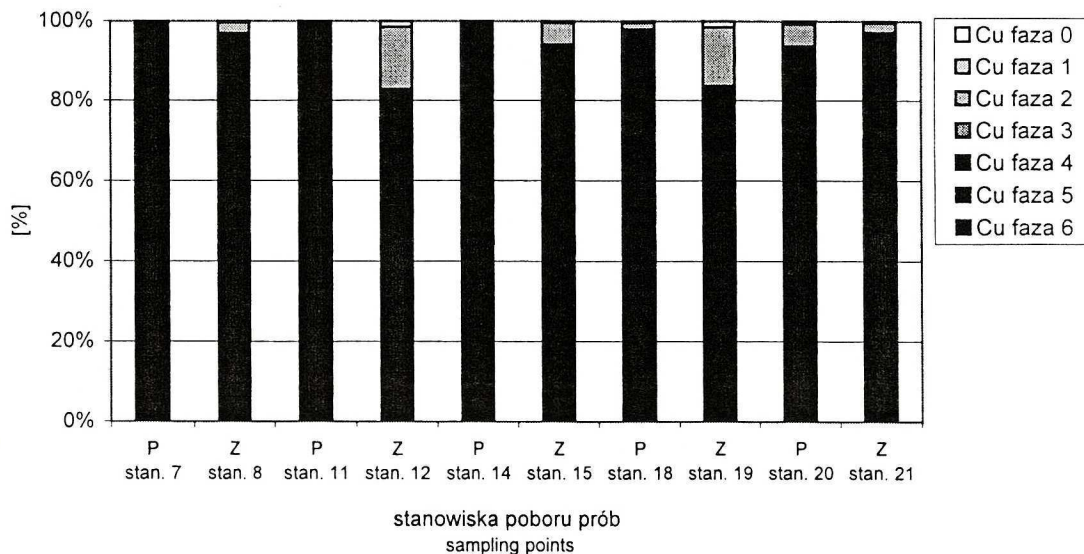


Rys. 7. Udział procentowy specyjalnych form chromu (Cr) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of speciation forms of chromium (Cr) in the bottom sediments of Gliwice Channel, before (P) and after (Z) sluices

padku Kanału Gliwickiego dominującą frakcją form mobilnych metali w osadach dennych jest faza węglanowa, uwalniająca się w warunkach deficytu tlenu oraz niskiego odczynu. Fazy zerowa i pierwsza stanowią niewielki odsetek ogólnej ilości form mobilnych.

Miedź tworzy najbardziej trwałe połączenia, co widać także na rys. 8. Fazą specyficzną mającą największy udział w ogólnej zawartości miedzi jest faza 5 (miedź związana z materią organiczną i siarczkami). W przypadku miedzi udział frakcji trwałych wynosił od 80 do 98% całej zawartości tego metalu w osadach dennych kanału. Udział form mobilnych natomiast od 2 do 20%. W miarę oddalania się od portu w Gliwicach udział form mobilnych zwiększał się.



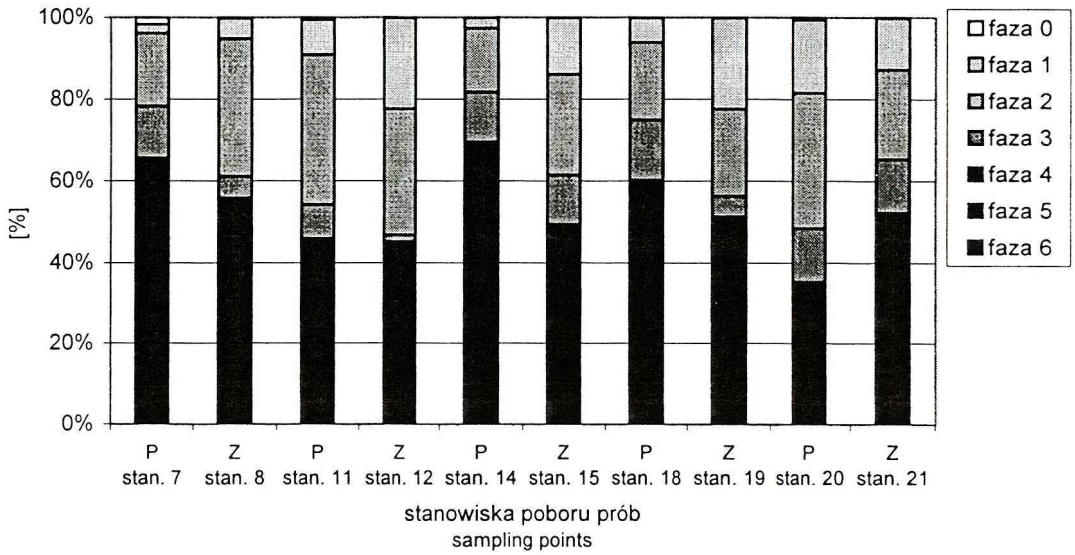
Rys. 8. Udział procentowy specyficjnych form miedzi (Cu) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of speitiation forms of copper (Cu) in the bottom sediments of Gliwice Channel, before (P) and after (Z) sluices

PODSUMOWANIE

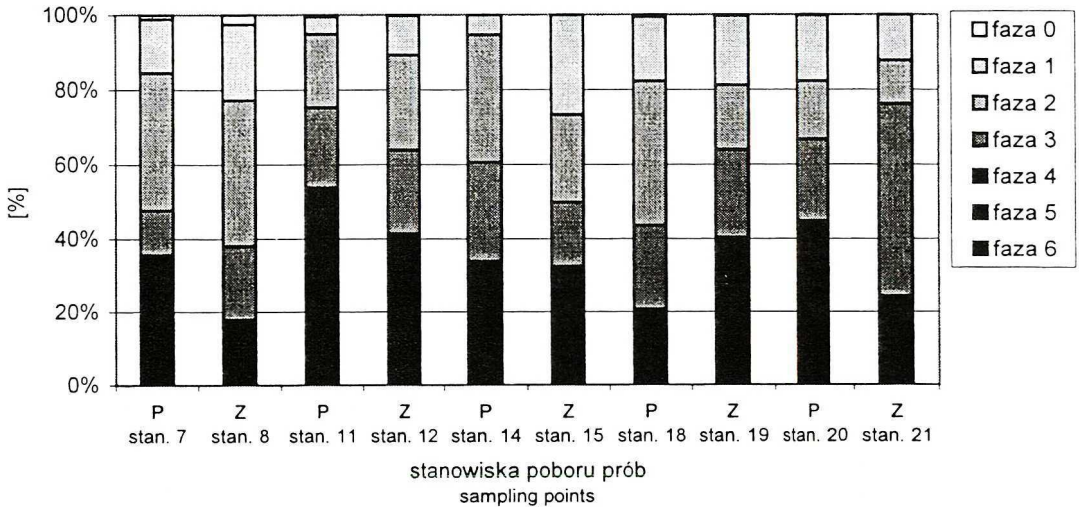
Zmniejszanie stężeń metali w osadach dennych, wzdłuż biegu Kanału Gliwickiego wskazuje, że wpływa on korzystnie na jakość wody, funkcjonując jako szereg osadników.

Przy tej ogólnej tendencji, w przypadku stężeń żelaza (Fe), cynku (Zn), miedzi (Cu), chromu (Cr), ołowiu (Pb), kadmu (Cd) i niklu (Ni) obserwuje się wzrost zawartości w osadach na poszczególnych odcinkach między kolejnymi śluzami. Wyjątkiem jest mangan (Mn), którego stężenia na odcinku od km 0 do km 25 wykazywały, mimo szerokiego zakresu zmian stężeń, tendencję wzrostową.



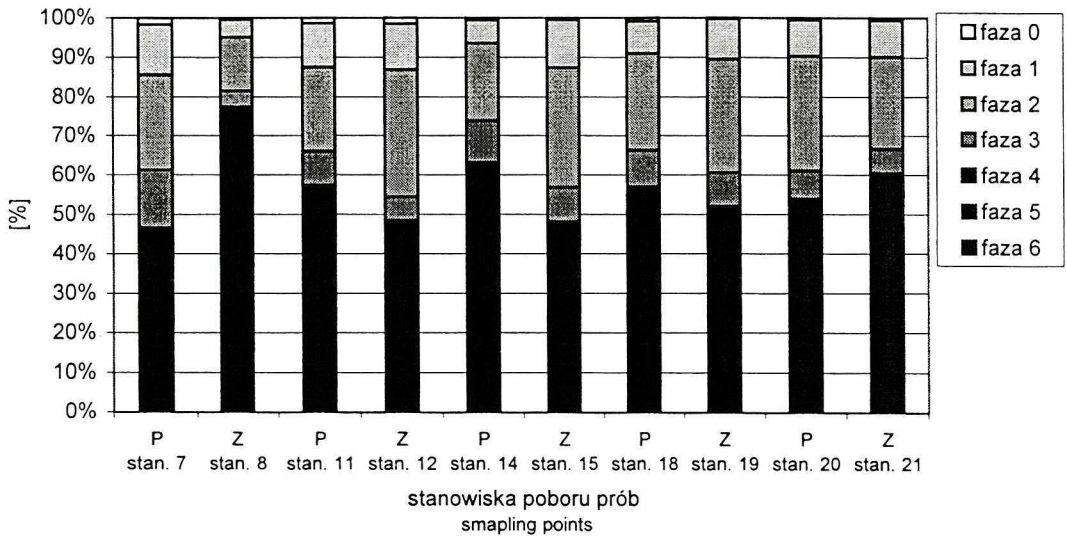
Rys. 9. Udział procentowy specjacyjnych form kadmu (Cd) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of spetition forms of cadmium (Cd) in the bottom sediments of Gliwice Channel, befora (P) and after (Z) sluices



Rys. 10. Udział procentowy specjacyjnych form manganu (Mn) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of spetition forms of manganese (Mn) in the bottom sediments of Gliwice Channel, befora (P) and after (Z) sluices



Rys 11. Udział procentowy specyficjnych form niklu (Ni) w osadach dennych Kanału Gliwickiego powyżej (P) i poniżej (Z) śluz

Percent participation of speciation forms of nickel (Ni) in the bottom sediments of Gliwice Channel, before (P) and after (Z) sluices

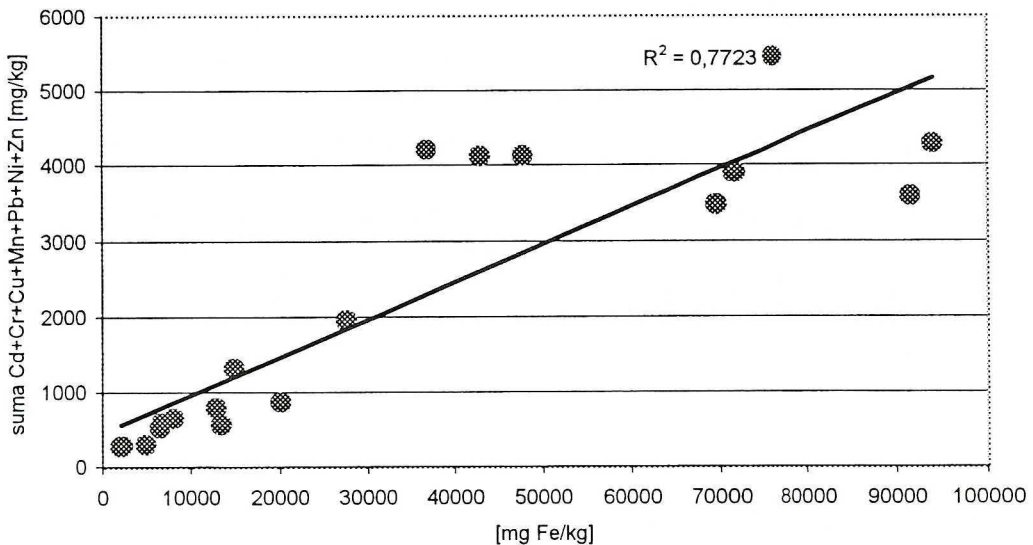
Analizując trzy odcinki różniące się wielkością stężeń metali, można zauważyć, że na końcowym odcinku kanału, gdzie stężenia są najmniejsze, udział form metali mogących potencjalnie przemieszczać się z osadów dennych do wody jest większy, aniżeli na odcinkach o wyższej zawartości ogólnej metali (tab. 2).

Tab. 2. Stopień zmniejszenia stężeń metali ciężkich na całej długości Kanału Gliwickiego
Percent decrease of heavy metals concentration on longitude profile on Gliwice Channel

Metal	Stopień zmniejszenia stężenia [%] degree of concentration decrease [%]	
	dla wartości rzeczywistych for the real values	dla wartości średnich for the average values
Żelazo (Fe)	93%	66%
Cynk (Zn)	84%	93%
Miedź (Cu)	99%	93%
Chrom (Cr)	98%	97%
Ołów (Pb)	90%	96%
Nikiel (Ni)	93%	88%
Kadm (Cd)	83%	64%

Podkreślenie na rys. 2 i 3 punktów oznaczających stanowiska poboru prób osadów dennych zlokalizowane przed i poza poszczególnymi śluzami pozwoliło na uwidocznienie w sposób bardzo wyraźny opisanej wyżej prawidłowości polegającej na występowaniu wyższych stężeń metali powyżej śluz, mniejszych zaś poniżej.

Metale ciężkie wprowadzane są do kanału wraz z wodą rzeki Kłodnicy, z której zostają wytrącone. Wskazuje na to zależność pomiędzy sumą stężeń oznaczanych metali ciężkich a ogólnym stężeniem żelaza (rys. 12). Także w wyniku sorpcji metali na cząstkach alochtonicznych zawiesin mineralnych i organicznych wprowadzanych z wodą rzeki Kłodnicy oraz na zawiesinach, powstających w wyniku produkcji pierwotnej i wtórnej w kanale (bakterie, fito- i zooplankton) następuje przechodzenie metali do osadów dennych wraz z detrytusem. Badania nad rolą zawiesin niesionych z wodą jako elementu zanieczyszczenia wykazały [4], że metale ciężkie dostają się do kanału z wodą oraz zawartą w niej zawiesiną. Zawiesiny bardzo szybko opadają na dno. Ponadto, jak wykazały wcześniejsze badania nad specyfiką zawiesin w wodzie rzeki Kłodnicy, za transport metali ciężkich „odpowiada” frakcja zawiesin o wielkości cząstek od 5 μm do 10 μm , zdecydowanie jednak wielkość wprowadzanego ładunku zależy od stężenia metali w wodzie [4].

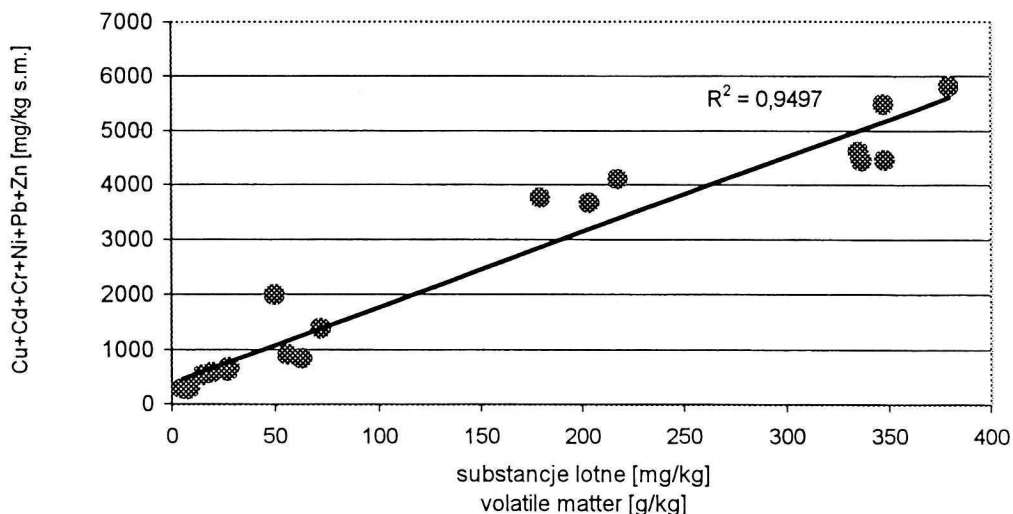


Rys. 12. Zależność między sumą stężeń metali ciężkich a stężeniem żelaza ogólnego w osadach dennych Kanału Gliwickiego

The relationship between total concentrations of heavy metals and total concentration of iron, in the bottom sediments of Gliwice Channel

Stwierdzona silna zależność pomiędzy stężeniem metali a zawartością substancji lotnych, z których przeważająca część to materia organiczna, wskazuje (rys. 13), że obecność materii organicznej w wodzie sprzyja przechodzeniu metali do osadów dennych. Można zatem powiedzieć, że w przypadku Kanału Gliwickiego zanieczyszczenie osadów metalami ciężkimi jest wtórnym skutkiem obciążenia wody substancją organiczną.

Silna zależność pomiędzy sumą stężeń oznaczanych metali a zawartością dominującego czynnika, jakim jest żelazo ogólne, może świadczyć o domi-



Rys. 13. Zależność między stężeniem metali ciężkich a zawartością substancji organicznej w osadach dennych Kanału Gliwickiego

The relationship between total concentration of heavy metals and concentration of organic matter in bottom sediments of Gliwice Channel

nowaniu w trwałych formach powiązań metali z amorficznymi tlenkami żelaza, a zatem o znaczącej roli tego metalu, który jest pochodzenia antropogenicznego.

Przemieszczanie zanieczyszczeń zgodnie z kierunkiem przepływu wody spowodowane jest ruchem mas wodnych wywołanym podczas opróżniania i napełniania komór śluz. Transportowi zanieczyszczeń sprzyja także turbulencja wody spowodowana śrubami pływających jednostek transportowych. Poniżej (tab. 3) przedstawiono stopień zmniejszenia stężenia poszczególnych metali, w odniesieniu do różnicy między najwyższą wartością na pierwszych stanowiskach kanału a wartością najniższą na stanowiskach końcowych oraz między najwyższą a najniższą wartością średnią dla danego metalu. W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości udziałów procentowych trwałych i mobilnych form metali na odcinkach kanału o różnym stopniu zanieczyszczenia. Jak widać, niezależnie od tego, czy całkowita zawartość poszczególnych metali jest wysoka czy niska, procentowe udziały frakcji mobilnych i trwałych są bardzo podobne.

Istotne z punktu widzenia zagrożenia dla środowiska jest stwierdzenie faktu, iż udział mobilnych, czyli potencjalnie zdolnych do uwalniania z osadów połączeń metali wzrasta poniżej śluz. Wydaje się prawdopodobne, że przyczyną tego stanu jest ruch mas wodnych wypuszczanych dennymi kanałami z komór śluzowych. Wzburzone strumieniem wypływającej wody osady denne zużywają rozpuszczony w wodzie tlen, co umożliwia powstawanie w środowisku beztlenowym połączeń metali mogących uwalniać się z osadów do wody.

Poczynione obserwacje sugerują, że znajdujące się na kierunku przepływu wody przeszkody powodują gromadzenie się zanieczyszczeń powyżej tych ele-

Tab 3. Średnie wartości procentowego udziału mobilnych i trwałych połączeń metali ciężkich na charakterystycznych odcinkach Kanału Gliwickiego

The average percent participation of mobile and contant form of heavy metals on the characteristic sections of Gliwice Channel

Wskaźnik Indicator	Formy Metal forms %	Charakterystyczne odcinki kanału the canal sections		
		km 0,1–9,7	km 15,2–25,3	km 26,4–41
Kadm (Cd)	mobilne	33,6	32,7	38,3
	trwałe	66,4	67,3	61,7
Chrom (Cr)	mobilne	15,4	27,0	44,3
	trwałe	84,6	73,0	55,7
Miedź (Cu)	mobilne	0,9	4,1	7,6
	trwałe	99,1	95,9	92,4
Mangan (Mn)	mobilne	35,6	39,3	39,5
	trwałe	64,4	60,7	60,5
Nikiel (Ni)	mobilne	31,0	35,7	37,4
	trwałe	69,0	64,3	62,6
Ołów (Pb)	mobilne	34,0	28,0	39,5
	trwałe	66,0	72,0	60,5
Cynk (Zn)	mobilne	29,0	28,0	39,0
	trwałe	71,0	72,0	61,0

mentów (np. śluzy, progi, kaskady, zwalone drzewa, ostrogi itp.). Wskazuje to na wpływ ww. elementów na kształtowanie warunków środowiskowych nisz ekologicznych, a przez to na skład gatunkowy i liczebność organizmów bentosowych.

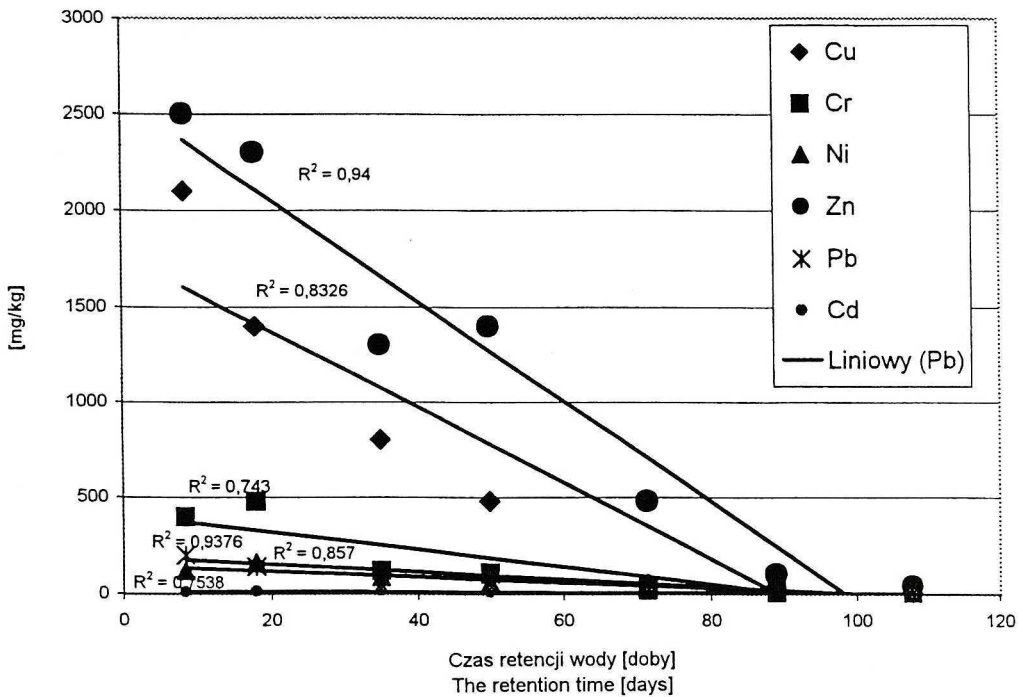
Istotny jest także czas retencji wody w kanale, wpływający zarówno na procesy fizyczno-chemiczne, jak i biologiczne. W tabeli 4 przedstawiono orientacyjny czas retencji w poszczególnych sekcjach kanału. Jak widać na rys. 14, zależność pomiędzy czasem retencji a stężeniem metali w osadach jest bardzo wyraźna.

Na całkowity czas retencji wody w kanale składa się suma czasów retencji poszczególnych jego odcinków. Masy wody przepływają przez śluzę z sekcji do sekcji, a następnie na pewien czas przepływ zostaje wstrzymany. Należy przy-

Tab. 4. Orientacyjny czas retencji wody w Kanale Gliwickim

The retention time of water in Gliwice Channel

Lp.	Sekcje Sections	%	Czas retencji [doby] The retention time [days]	Σ Czas retencji Σ The retention time [days]
1	VII	7,7	8,3	8,3
2	VI	9,0	9,7	18,0
3	V	15,7	16,9	34,9
4	IV	13,9	15,0	49,9
5	III	20,0	21,5	71,4
6	II	16,3	17,6	89,0
7	I	17,4	18,8	107,8
8	Razem	100	107,8	



Rys 14. Zależność między stężeniem metali ciężkich w osadach dennych a czasem zatrzymania wody w Kanale Gliwickim

The relationship between heavy metals concentration in bottom sediments and the water retention time on Gliwice Channel

puszczać, że to właśnie czas zatrzymania wody wespół z charakterystycznym, sekwencyjnym przepływem wody pomiędzy poszczególnymi sekcjami kanału stanowią czynnik, który powoduje opisany, charakterystyczny rozkład stężeń metali w osadach dennych.

Osady dennie rzek, jezior naturalnych i zbiorników wodnych nie są klasyfikowane pod względem dopuszczalnej ilości zawartych w nich zanieczyszczeń. Jednakże w przypadku kanałów wodnych są one wydobywane, czego klasycznym przykładem jest stała konserwacja Kanału Gliwickiego. Wydobywane osady wymagają odpowiedniego zagospodarowania, którego jedną z form jest wykorzystywanie ich jako gleb do upraw rolnych lub do celów nierolniczych.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa nr 813, z dnia 11 sierpnia 1999 r. (Dz.U. Nr 72), w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe, określa szczegółowo ilości metali ciężkich w osadach ściekowych wykorzystywanych na cele nieprzemysłowe, rolnicze, rekultywacji gruntów na cele rolnicze i nierolnicze.

W tabelach 5–7 przedstawiono, sporządzoną na podstawie analizy uzyskanych wyników oznaczeń metali ciężkich, uwzględniającej aspekty utylizacji,

Tab. 5. Ilość metali w osadach dennych Kanału Gliwickiego z punktu widzenia norm określających możliwość wykorzystania osadów na cele nieprzemysłowe – w szczególności przy stosowaniu odpadów w rolnictwie, do rekultywacji gruntów na potrzeby rolnicze oraz do kompostowania (Dz.U. Nr 72, poz. 8143, Zał. 1)

The quantity of heavy metals in the bottom sediments of Gliwice Channel. The possibility of utilization for agriculture, restoration and to compost

Metale Metals	Norma Standard	Stosowanie osadów w rolnictwie do rekultywacji gruntów na potrzeby rolnicze oraz do kompostowania The use of bottom sediments in agriculture, soil restoration and to compost																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Stanowiska – Points																						
Śluza – Sluice		SŁ						SD						SR						SNW		SK
Kilometr dł. kanału Longitude of Gliwice Canal		0	2,0	5,5	6,5	7,5	8,5	9,7	11,2	12,7	15,2	18,3	19,2	24,4	25,2	26,4	28,9	30,7	32,3	34,4	38,6	41,0
Ołów (Pb)	500 mg/kg	Stężenia ołowiu całkowitego nie przekraczają norm stosowania na całej długości Kanału Gliwickiego On the all longitude of Gliwice Canal the lead concentrations are below the standard																				
Kadm (Cd)	10 mg/kg	P	Stężenia wyn. 80% normy					P	The cadmium concentration			P		80 %	P	Nie przekracza norm ww. Is below the standard						
Chrom (Cr)	500 mg/kg	Stężenia wynoszą 75% normy						P	Na tym odcinku stężenie chromu nie przekracza norm stosowania ww. The chromium concentration is below the standard													
Miedź (Cu)	800 mg/kg	P		P	P	P		P	Nie przekracza Below standard			P	Na tym odcinku normy nie są przekroczone Cooper concentration is below the standard									
Nikiel (Ni)	100 mg/kg	P		P				P	Nie przekracza Below standard			80 %	Na tym odcinku normy nie są przekroczone The nickel concentration are below the standard									
Cynk (Zn)	2500 mg/kg	P		97%	85 %	94 %		89 %	Na tym odcinku stężenie cynku nie przekracza norm stosowania ww. On this section the zincum concentration is below the standard													

Tab. 7. Ilość metali ciężkich w osadach dennych Kanału Gliwickiego z punktu widzenia norm określających możliwość wykorzystania osadów na cele nieprzemysłowe – w szczególności do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz do roślinnego utrwalania powierzchni gruntów (Dz.U. Nr 72, poz. 8143, Zał. 1)

The quantity of heavy metals in the bottom sediments of Gliwice Channel. The possibility of utilization for to compost and for soil plant-recultivation

Metale Metals	Norma Standard	Stosowanie osadów pod uprawę roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz do roślinnego utrwalania powierzchni gruntów																				
Stanowiska – Points		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Śluza – Sluice	SŁ							SD				SR			SS				SNW		SK	
Kilometr dł. kanału Longitude of Gliwice Canal	0	2,0	5,5	6,5	7,5	8,5	9,7	11,2	12,7	15,2	18,3	19,2	24,4	25,2	26,4	28,9	30,7	32,3	34,4	38,6	41,0	
Ołów (Pb)	1500 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia ołowiu (Pb) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the lead concentrations are below the standard																				
Kadm (Cd)	50 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia kadmu (Cd) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the cadmium concentrations are below the standard																				
Chrom (Cr)	2500 mg/kg	Na całej długości Kanału stężenia chromu (Cr) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the chromium concentrations are below the standard																				
Miedź (Cu)	2000 mg/kg	P		P	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia miedzi (Cu) nie przekraczają ww. norm On this section of Gliwice Canal the copper concentrations are below the standard																	
Nikiel (Ni)	500 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia niklu (Ni) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the nickel concentrations are below the standard																				
Cynk (Zn)	5000 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia cynku (Zn) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the zinc concentrations are below the standard																				

Tab. 6. Ilość metali ciężkich w osadach dennych Kanału Gliwickiego z punktu widzenia norm określających możliwość wykorzystania osadów na cele nieprzemysłowe – w szczególności przy stosowaniu odpadów do rekultywacji gruntów na potrzeby nierolnicze (Dz.U. Nr 72, poz. 8143, Zał. 1)

The quantity of heavy metals in the bottom sediments of Gliwice Channel. The possibility of utilization for non-agriculture restoration

Metale Metals	Norma Standard	Stosowanie osadów do rekultywacji gruntów na potrzeby nierolnicze The use of bottom sediments for non-agriculture																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Stanowiska – Points																						
Śluza – Sluice	SŁ							SD							SS				SNW		SK	
Kilometr dł. kanału Longitude of Gliwice Channel		0	2,0	5,5	6,5	7,5	8,5	9,7	11,2	12,7	15,2	18,3	19,2	24,4	25,2	26,4	28,9	30,7	32,3	34,4	38,6	41,0
Ołów (Pb)	1000 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia ołowiu (Pb) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the lead concentrations are below the standard																				
Kadm (Cd)	25 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia kadmu (Cd) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the cadmium concentrations are below the standard																				
Chrom (Cr)	1000 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia chromu (Cr) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the chromium concentrations are below the standard																				
Miedź (Cu)	1200 mg/kg	On this section concentration of copper are over the standard							Na tym odcinku Kanału Gliwickiego stężenia miedzi (Cu) nie przekraczają w/w norm On this section of Gliwice Canal the copper concentrations are below the standard													
Nikiel (Ni)	200 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia niklu (Ni) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the nickel concentrations are below the standard																				
Cynk (Zn)	3500 mg/kg	Na całej długości Kanału Gliwickiego stężenia cynku (Zn) nie przekraczają ww. norm On the all longitude of Gliwice Canal the zinc concentrations are below the standard																				

klasyfikację osadów dennych poszczególnych odcinków kanału pod kątem możliwości ich wykorzystania.

Ze sporządzonych tabel wynika, że w zależności od ewentualnego sposobu wykorzystywania (zagospodarowywania) osadów dennych wydobywanych z koryta Kanału Gliwickiego zmienia się długość odcinka kanału, z którego osady te nadają się do danego sposobu utylizacji.

Przede wszystkim stwierdzono, że w największym stopniu zanieczyszczony jest odcinek od portu w Gliwicach do śluzy w Dzierżnie. Jednakże stężenia metali w osadach nie są przeszkodą do ich wykorzystywania. Odcinki kanału pod względem zanieczyszczenia metalami w sposób ograniczający ich bezpośrednio stosowanie kształtują się obecnie następująco: do stosowania w rolnictwie, do rekultywacji gruntów nadają się osady denne z odcinka 16,8 km. Stanowi to 40% długości kanału. Do rekultywacji gruntów na potrzeby nierolnicze nadają się osady z odcinka 33,5 km kanału (co stanowi 80% długości koryta). Do wykorzystywania pod uprawę roślin do kompostowania oraz do roślinnego utrwalania powierzchni gruntów nadają się osady z 36,5 km kanału, co stanowi 87% całkowitej jego długości. Oceniając długość poszczególnych odcinków przyjęto za podstawę stężenia metali przekraczające dopuszczalne normy. Jak widać, w niektórych przypadkach o klasyfikacji decydowało stężenie jednego metalu, tj. miedzi.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Kanał Gliwicki w kontekście stopnia zanieczyszczenia oraz przestrzennego rozmieszczenia metali ciężkich w osadach dennych należy rozpatrywać nie jako ciek, lecz jako zespół ściśle współpracujących sekwencyjnie ze sobą, spiętrzeń na stopniach wodnych.

2. O zawartości metali ciężkich w osadach dennych Kanału Gliwickiego decyduje ich zawartość w wodzie rzeki Kłodnicy zasilającej kanał. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych zmniejsza się skokowo w następujących po sobie kolejnych sekcjach kanału. O charakterystycznym rozmieszczeniu metali ciężkich wzdłuż osi kanału decyduje jego kaskadowa budowa oraz wynikający z tego pulsacyjny (sekwencyjny) przepływ wody, powstający podczas napełniania i opróżniania komór śluz. Wielkość przepływu, a zatem intensywność wymiany wody i czasy retencji w poszczególnych sekcjach kanału, są wypadkową jego użytkowania. Wskazuje to na wpływ ww. elementów na kształtowanie warunków środowiskowych nisz ekologicznych, a przez to na skład gatunkowy i liczebność organizmów bentosowych.

3. Faza wiążąca metale z materią organiczną oraz siarczkami stanowi dominującą formę trwałych połączeń metali. Obecność materii organicznej oraz wysokie stężenia żelaza w wodzie zasilającej kanał sprzyjają przechodzeniu metali z wody do osadów dennych.

4. Faza węglanowa stanowi dominującą formę połączeń metali w osadach dennych kanału zdolnych w środowisku kwaśnym do przechodzenia do wody.

5. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych Kanału Gliwickiego ogranicza zakres, możliwości i sposób ich utylizacji. Największy efekt ekologiczny w postaci poprawy stanu środowiska przyniesie usuwanie osadów dennych z dna kanału na odcinkach o długości około 1 km powyżej każdej ze śluz.

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

LITERATURA

- [1] Calmano W., U. Forster: *Chemical Extraction of Heavy Metal in Polluted River Sediments in Central Europe*, The Science of the Total Environment, **28**, 1983.
- [2] Helios-Rybicka E., *Rola minerałów ilastych w wiązaniu metali ciężkich przez osady rzeczne górnej Wisły*, 1986. Zeszyty Naukowe AGH, Geologia **32**, 1986.
- [3] Kostecki M.: *Metale ciężkie w osadach dennych zbiorników zaporowych Hydrowęzła rzeki Kłodnicy (Dzierżno Duże, Dzierżno Małe, Pławniowice)*, Konf. Nauk. Odra 2000, Karpacz – czerwiec 2000.
- [4] Kostecki M.: *Zawiesina jako element zanieczyszczeń antropogennego ekosystemu wodnego na przykładzie zbiornika zaporowego Dzierżno Duże*, Archiwum Ochrony Środowiska – vol. **26**, nr 4, 75–94, 2000.
- [5] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Część III. Metale ciężkie w osadach dennych zbiornika*, Archiwum Ochrony Środowiska, **2**, 73–81, 1998.
- [6] Kostecki M., E. Kowalski, A. Domurad, J. Kozłowski: *Limnologiczne badania zbiornika zaporowego Dzierżno Duże. Określenie stopnia skażenia wody i osadów dennych w aspekcie procesów samooczyszczania*, Prace IPIS PAN, 1997–1998 (niepublikowane).
- [7] Kostecki M., E. Kowalski, A. Domurad, J. Kozłowski, B. Zych: *Ocena stopnia skażenia wody i osadów dennych systemu transportu wodnego Kłodnica-Kanal Gliwicki*, Prace IPIS PAN, 1999–2000. Raport końcowy – Etap I (niepublikowane).
- [8] Kostecki M., M. Leśniak, M. Stenzel, *Metale ciężkie w opadach atmosferycznych na terenie wyrobiska popiaskowego KPP „Szczakowa” oraz zbiornika retencyjnego „Dzieńkowice”*, Archiwum Ochrony Środowiska, nr **1–2**, s. 93–103, tab. 7, poz. bibl. 10, 1993.
- [9] Kyzioł J.: *Minerały ilaste jako sorbenty metali ciężkich*, Prace i Studia IPIŚ PAN, 1994, nr 43, ss. 89, rys. 56, tab. 17, poz. bibl. 61, sum.
- [10] Tessier A., P. G. C. Campbell, M. Bisson: *Trace Metal Speciation in the Yamashe and St. Francois River (Quebec)*, Canadian Journal of Earth Sciences, 1980.