

METALE CIĘŻKIE W OSADACH RZECZNYCH TERENÓW ZURBANIZOWANYCH ZLEWNI RZEKI KŁODNICZY.

Monika Działoszyńska-Wawrzekiewicz

Słowa kluczowe: osady dennie, metale ciężkie, zlewnia zurbanizowana, Kłodnica

1. Wprowadzenie

Znaczna część zanieczyszczeń tj. metale ciężkie czy syntetyczne związki organiczne - związki charakteryzujące się słabą rozpuszczalnością oraz trudno ulegające degradacji, wprowadzanych do środowiska wodnego w wyniku działalności gospodarczej człowieka kumuluje się w osadach wodnych. W rezultacie wiele współczesnych osadów występujących w rzekach, jeziorach a także zatokach morskich cechuje wysoki stopień zanieczyszczenia. Obecnie głównymi źródłami zanieczyszczeń zarówno wód jak i osadów są ścieki bytowo – gospodarcze (komunalne), ścieki przemysłowe, w tym ścieki powstające podczas wydobywania, uszlachetniania i przeróbki surowców mineralnych oraz ścieki powstające przy produkcji rolniczej. Oprócz punktowych źródeł dużą rolę odgrywają także źródła niepunktowe tzw. obszarowe źródła zanieczyszczeń, do których należy zaliczyć spływy powierzchniowe, spływy z terenów rolniczych oraz depozycję z atmosfery.

Zanieczyszczone osady wykazują najczęściej podwyższone wartości metali ciężkich i charakteryzują się wielkościami rzędu kilku ppm w przypadku kadmu i rtęci, kilkudziesięciu a nawet kilkuset ppm dla arsenu, chromu, niklu czy miedzi do nawet kilku tysięcy ppm w przypadku cynku. Naturalna zawartość tych metali w osadach poza obszarami, w których występują ich naturalne podwyższenia wynikające przykładowo z obecności rud metali np. galeny – ruda Pb, cynobru – ruda Hg, jest bardzo niska. Wartości graniczne dla tła w osadach wodnych Polski wynoszą: 0,1 ppm dla Hg, 1,8 ppm dla Cd, <5 ppm dla As, 18 ppm dla Cr i Ni, 25 ppm dla Cu, 45 ppm dla Pb i 220 ppm dla Zn [11,12].

Najwyższe wartości oraz szerokie spektrum zanieczyszczeń występujących w osadach wodnych obserwuje się najczęściej na terenach zurbanizowanych, w wielkich aglomeracjach przemysłowych tj. Górnośląski Okręg Przemysłowy, Trójmiasto, Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy. Szybki rozwój przemysłu, napływ ludności, rozbudowa ośrodków miejskich oraz towarzyszący temu niski nacisk na działania na rzecz ochrony środowiska powodowały w minionych latach duże zniszczenia w otaczającym nas ekosystemie. Osady wodne określane są często mianem „magazynów” historycznych i współczesnych zanieczyszczeń z uwagi na zdolności kumulowania różnych związków. Przy zaistnieniu niesprzyjających warunków tak

naturalnych (np. powodzi) jak i antropogenicznych (bagrowanie, budowa konstrukcji wodnych, transport wodny) zanieczyszczony osad może stać się wtórnym źródłem zanieczyszczenia wód. Poruszenie osadów zdeponowanych w dnie powoduje ich przemieszczanie do wyższych warstw wody oraz transport w dół rzeki i depozycję w nowych miejscach. W warunkach wysokich stanów wód unoszony w toni wodnej zanieczyszczony osad może być również odkładany poza korytem rzeki na terenach zalewowych.

Osady wodne oprócz roli tzw. „magazynów” zanieczyszczeń stanowią także integralną część środowiska wodnego, będąc miejscem bytowania, żerowania a także rozmnażania dla wielu organizmów. Negatywny wpływ zanieczyszczonych osadów został dotychczas szeroko udokumentowany [3,4,5,8,19]. Zanieczyszczone osady powodują nie tylko zatrucia, choroby i wymieranie gatunków wodnych, ale także stwarzają niebezpieczeństwo dla ludzi i zwierząt, spożywających zanieczyszczone mięso ryb czy innych wyższych organizmów żywych. Wymieranie gatunków wrażliwych na wzrost zanieczyszczenia środowiska przyczynić się może także do dominacji organizmów tolerujących substancje niebezpieczne, co w konsekwencji może zaburzyć naturalną konkurencyjność i wpłynąć na dynamikę populacji wyższych organizmów.

Dodatkowym problemem pojawiającym się przy zagadnieniu zanieczyszczonych osadów wodnych jest kwestia ich zagospodarowania po wydobyciu z koryt rzek, zbiorników, kanałów czy portów. W wielu krajach osad z nich wydobyty traktowany jest jako odpad i w zależności od składu chemicznego klasyfikowany jest albo jako materiał nadający się do powtórnego umieszczenia w środowisku bez ograniczeń, albo do wykorzystania z zachowaniem pewnych ograniczeń. Osady kwalifikowane jako zanieczyszczone przeznaczane są do oczyszczenia lub do deponowania na składowiskach odpadów. Z powyższego wynika, że gospodarka zanieczyszczonymi osadami wodnymi wiąże się także z wysokimi kosztami.

W Polsce brak jest dotychczas systemu klasyfikacji osadów wodnych w rozumieniu przyjętych klas zawartości określonych zanieczyszczeń, tak jak ma to miejsce np. w odniesieniu do komunalnych osadów ściekowych [16]. Jedynie w ramach jednego z podsystemów Państwowego Monitoringu Środowiska – Monitoringu jakości śródlądowych wód powierzchniowych wykonywana jest ocena jakości osadów w aspekcie zanieczyszczenia ich metalami ciężkimi lub szkodliwymi związkami organicznymi w oparciu o kryteria geochemiczne [13]. Przepisami prawa ustalona jest natomiast klasyfikacja określająca czy urobek pochodzący z pogłębiania przyportowych akwenów morskich, śródlądowych zbiorników wodnych, stawów, cieków naturalnych, kanałów i rowów w związku z ich utrzymaniem i regulacją wód jest zanieczyszczony [17].

2. Charakterystyka zlewni Kłodnicy

Kłodnica leży w obszarze zlewni Górnej Odry i stanowi jej prawostronny dopływ (Rysunek 1).

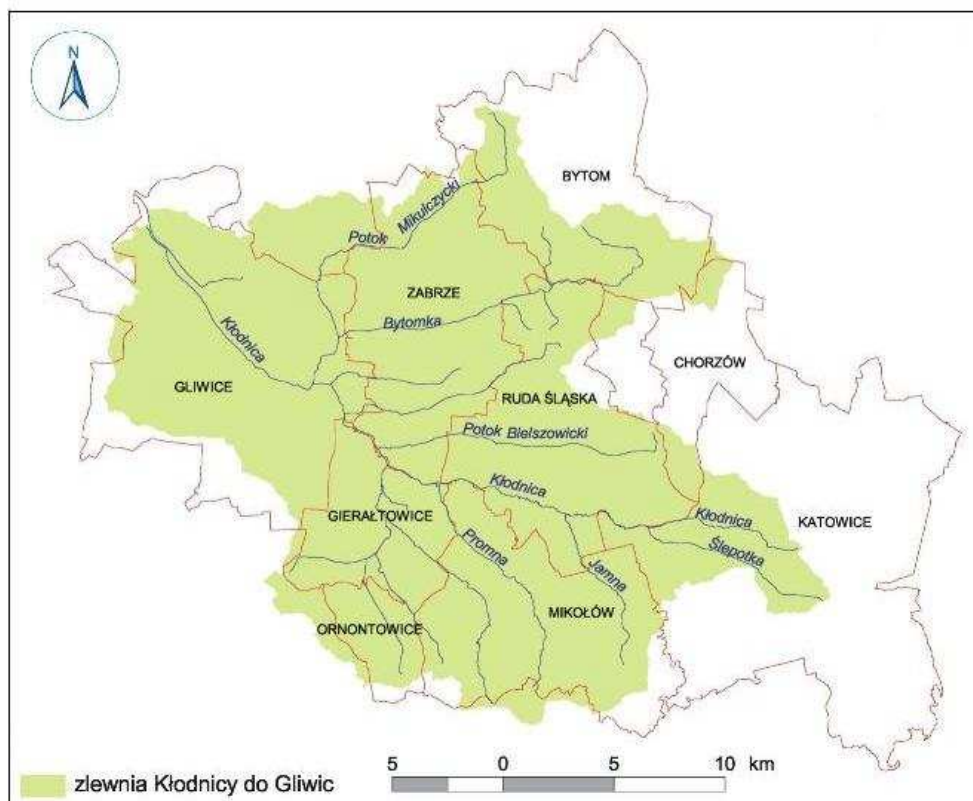


Rysunek 1 Położenie zlewni Kłodnicy na tle zlewni górnej Odry.

Zgodnie z podziałem na regiony fizyczno-geograficzne Polski według J. Kondrackiego zlewnia Kłodnicy położona jest w obszarze regionu Wyżyny Katowickiej i Kotliny Raciborskiej. Administracyjnie leży na obszarze dwóch województw: śląskiego i opolskiego. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 1125,8 km² [15]. Źródła rzeki zlokalizowane są w południowej części Katowic (województwo śląskie) na granicy dzielnic: Brynów, Muchowiec i Ochojec na wysokości 305 m npm. Obszar źródłiskowy objęty jest ochroną, gdzie na ok. 100 ha utworzony jest *Zespół przyrodniczo-krajobrazowy „Źródła Kłodnicy”*. Ujście Kłodnicy znajduje się w Kędzierzynie - Koźlu (województwo opolskie) w dzielnicy Koźle na wysokości 164 m npm. Długość rzeki wynosi 84 km. Na całej długości rzeka ma charakter rzeki podgórskiej o dużym spadku (1,81 promila) i znacznej zmienności przepływów.

W górnym biegu Kłodnica wraz z dopływami płynie przez gęsto zaludnione, przemysłowe tereny Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego - Katowice, Rudę Śląską,

Bytom, Zabrze, Gliwice. Poniżej Gliwic rzeka płynie przez tereny rolnicze. Jedynie w odcinku ujściowym przepływa przez teren przemysłowy miasta Kędzierzyn – Koźle. Górna część zlewni obejmująca umownie obszar od źródeł po wlot do zbiornika Dzierżno Duże (poniżej miasta Gliwice) zaliczana jest do najsilniej przeobrażonych działalnością człowieka obszarów w Polsce (Rysunek 2).



Rysunek 2 Fragment zlewni Kłodnicy od źródeł do Gliwic

Cechą charakterystyczną Kłodnicy i jej dopływów, w szczególności dopływów prawostronnych: potoku Bielszowickiego, potoku Czarniawka, Bytomki jest bardzo zła jakość wód oraz nagromadzenia znacznych ilości zanieczyszczonych osadów pochodzenia antropogenicznego (Rysunek 3). Głównymi źródłami zanieczyszczeń są nieoczyszczone ścieki bytowo gospodarcze oraz ścieki przemysłowe. Dominującą gałęzią przemysłu jest górnictwo podziemne węgla kamiennego. Obecnie na obszarze zlewni czynnych jest dziewięć kopalń, z których osiem odprowadza na bieżąco ścieki do wód powierzchniowych w zlewni Kłodnicy. W 2006 roku średnio wprowadzano prawie 51 tys. m³ ścieków na dobę, w tym 47 tys m³ zasolonych wód dołowych [14]. Trudnym do rozwiązania problemem są również spływy z zanieczyszczonych terenów przemysłowych, w tym z terenów składowisk odpadów pogórnich.



Rysunek 3 Nagromadzenie osadów antropogenicznych przy ujściu potoku Czarniawka do Kłodnicy

3. Metodyka badań

3.1 Punkty poboru

Wybór lokalizacji punktów pomiarowych osadów dennych dokonano w celu pełnego zobrazowania jakości osadów zalegających na terenach zurbanizowanych zlewni rzeki Kłodnicy. W tym celu punkty pomiarowe zebrane zostały w dwóch grupach.

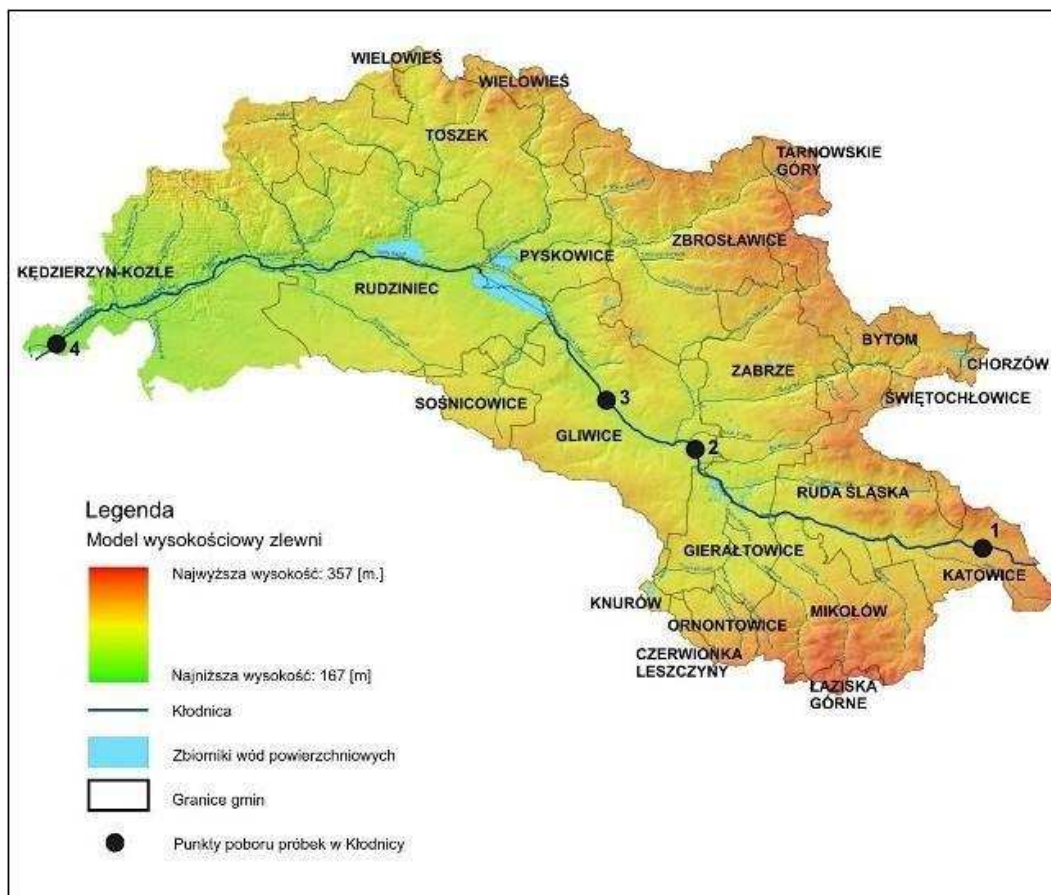
▪ Punkty na Kłodnicy

W pierwszej grupie punkty zlokalizowano tylko w korycie Kłodnicy. Rzeka przepływa przez trzy różne pod względem sozologicznym obszary, które zostały wyodrębnione umiejscowieniem punktów poboru próbek osadów dennych. Wytypowano cztery punkty o numeracji K 1-4 charakteryzujące wybrane obszary (Rysunek 4).

Punkt K1 zlokalizowany został na końcu obszaru pierwszego wyznaczającego teren zlewni Kłodnicy od jej źródeł do pętli tramwajowej w Katowicach Brynowie – obszarze o najmniejszym wpływie antropogenicznym.

Drugim obszarem jest silnie zurbanizowany teren miast GOP w obrębie którego umiejscowione zostały punkty 2 i 3. *Punkt K2* zlokalizowany został w jego środkowej części, poniżej ujścia potoku Czarniawki a przed ujściem Bytomki - głównego północnego dopływu Kłodnicy. *Punkt K3* umieszczono na końcu obszaru GOP, poniżej Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Gliwicach a przed pierwszą śluzą Kanału Gliwickiego.

Punkt K4 zlokalizowano kilkaset metrów przed ujściem Kłodnicy do Odry w Kędzierzynie Kozłu. Punkt ten zamyka trzeci z obszarów – obszar o charakterze rolniczym pogranicza województw opolskiego i śląskiego.



Rysunek 4 Punkty poboru próbek osadów dennych na Kłodnicy

▪ Punkty na dopływach Kłodnicy

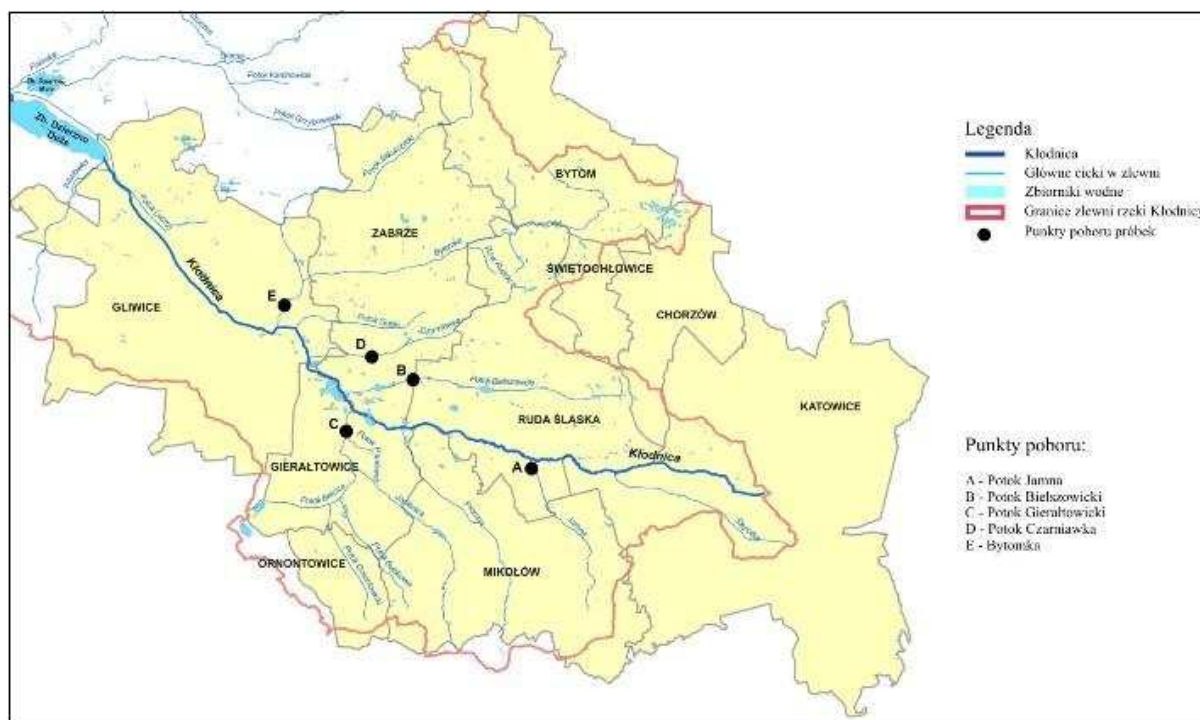
W drugiej grupie punkty wytypowano na głównych dopływach Kłodnicy położonych w części zurbanizowanej zlewni. Wskazano pięć punktów poboru próbek, które w celu odróżnienia od punktów z koryta Kłodnicy oznaczono kolejnymi literami alfabetu od A do E (Rysunek 5).

Wszystkie punkty poboru prób znajdują się w strefach ujściowych dopływów, poniżej ostatnich źródeł zanieczyszczeń;

- *punkt A* – potok Jamna w Rudzie Śląskiej;
- *punkt B* – potok Bielszowicki (Kochłówka) na granicy Rudy Śląskiej i Zabrze;
- *punkt C* – potok Gierałtowicki (Jasienica) w Gierałtowicach;
- *punkt D* – potok Czarniawka w Zabrze;

➤ *punkt E* – rzeka Bytomka w Gliwicach.

W wyborze punktów pominięto jeden z lewostronnych dopływów - potok Promna z powodu istnienia w ujściowym odcinku potoku dużego rozlewiska antropogenicznego, gdzie zostają zatrzymane prawie wszystkie osady.



Rysunek 5 Punkty poboru próbek osadów dennych na dopływach Kłodnicy

Wszystkie próbki pobrano ręcznie, przy użyciu podręcznych narzędzi (łopat) z powierzchniowej warstwy osadów, do głębokości 30 cm (w zależności od istniejących warunków) o masie około 1 kg. Poborów dokonano w ciągu jednego dnia roboczego w kwietniu 2008 r.

3.2 Metodyka analityczna

We wszystkich pobranych próbkach osadów dennych wykonano oznaczenia ośmiu metali ciężkich: arsenu (As), chromu (Cr), cynku (Zn), kadmu (Cd), miedzi (Cu), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i rtęci (Hg) zgodnie z załącznikiem do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. (poz. 498) w sprawie rodzajów oraz stężeń, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [17].

Próbki do badań zostały wysuszone w temperaturze pokojowej do stałej masy a następnie przesiane przez sito nylonowe o średnicy oczek 2 mm w celu wyeliminowania materiałów nie będących składnikami osadów takich jak kawałki drewna, kawałki złomu metali, fragmenty

żużlu, okruchy farb i lakierów, zestalone kawałki smoły czy asfaltu itp. Z odsianej frakcji < 2 mm pobrano próbki o wadze 100g, które przy pomocy młynka zostały utarte do ziaren o średnicy < 0,063 mm w celu rozdrobnienia materiału do analizy.

Analizy ilościowe wykonano zgodnie z obowiązującymi normami i/lub udokumentowanymi procedurami badawczymi (Tabela 1).

Tabela 1 Metody badań wybranych metali ciężkich w próbkach osadów.

Oznaczenia	Metoda badań
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	ICP - OES
As	AAS techniką zimnych par
Hg	AAS techniką generacji wodorków

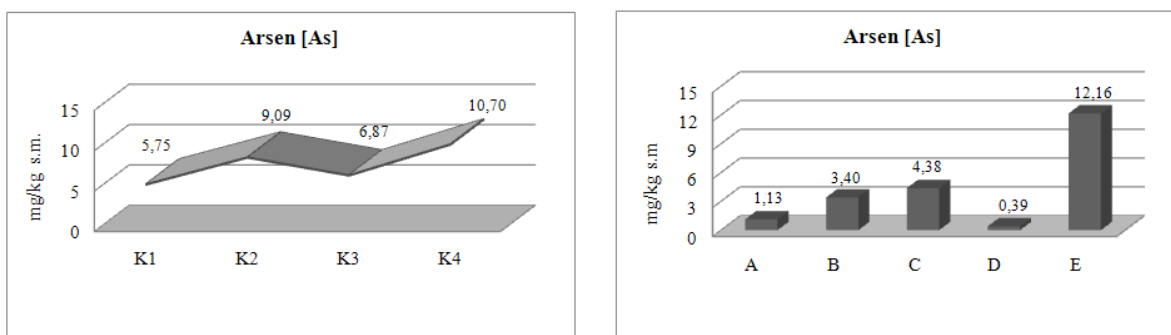
4. Wyniki badań

4.1 Arsen

Zawartość arsenu w badanych próbkach osadów dennych zlewni Kłodnicy zmieniała się w szerokim zakresie od 0,39 do 12,16 mg/kg (Rysunek 6).

Wzdłuż biegu Kłodnicy wartości mieściły się w przedziale od 5,75 mg/kg w pierwszym punkcie K1 w Katowicach Brynowie do 10,70 mg/kg na ostatnim stanowisku K4 w Kędzierzynie Koźlu w odcinku ujściowym.

Stężenia arsenu na dopływach były bardzo zróżnicowane. Najniższą wartość odnotowano na potoku Czarniawka (D) – 0,39 mg/kg, natomiast najwyższą na Bytomce (E) – 12,16 mg/kg. Na pozostałych dopływach stężenia wynosiły kilka mg/kg.



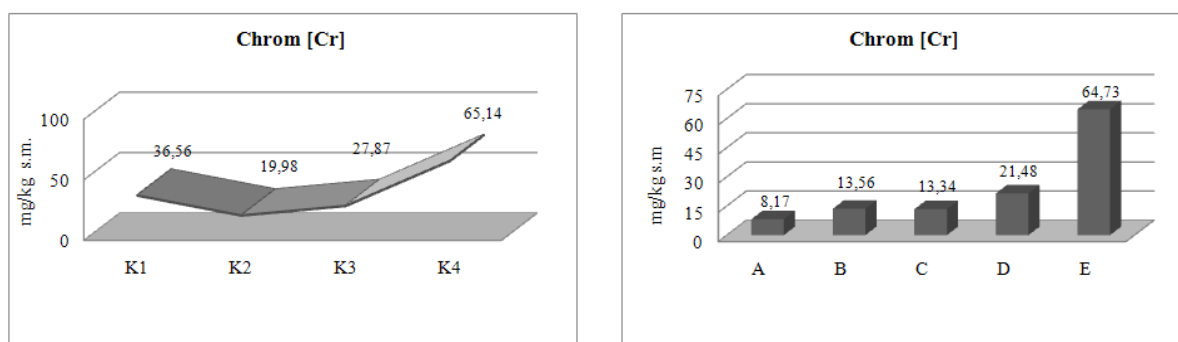
Rysunek 6 Stężenie arsenu [As] w osadach dennych Kłodnicy (K1- K4) i na dopływach (A-E)

4.2 Chrom

Stężenia chromu w osadach dennych na obszarze zlewni Kłodnicy wahały się w zakresie od 8,17 do 65,14 mg/kg (Rysunek 7).

W korycie Kłodnicy w punkcie K1 (Katowice Brynów) zawartość chromu wynosiła 36,56 mg/kg, w kolejnym punkcie K2 poniżej ujścia potoku Czarniawki w Gliwicach stężenie spadło do 19,98 mg/kg. W kolejnych punktach wartości wzrosły osiągając poziom 65,14 mg/kg w punkcie końcowym K4 w Kędzierzynie Koźlu.

Zawartości chromu na dopływach były różne. Najniższe odnotowano na potoku Jamna (A) – 8,17 mg/kg a najwyższe w Bytomce (E) – 64,73 mg/kg. W próbkach pobranych z potoku Bielszowickiego (B) i Gierałtówickiego (C) wartości były zbliżone i wynosiły około 13,5 mg/kg natomiast w potoku Czarniawka (D) – 21,48 mg/kg.



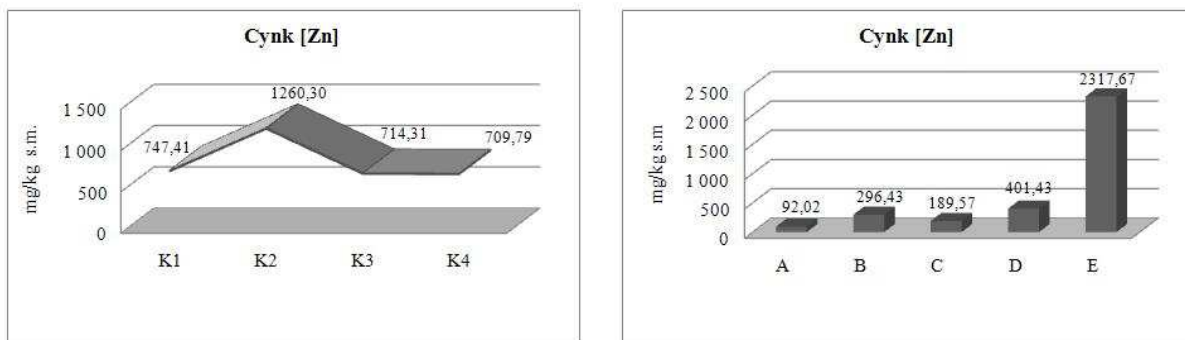
Rysunek 7 Stężenie chromu [Cr] w osadach dennych Kłodnicy (K1- K4) i na jej dopływach (A-E)

4.3 Cynk

Wartości cynku odnotowane w badanych próbkach osadów były bardzo zróżnicowane i mieściły się w zakresie od 92,02 do 2 317,67 mg/kg (Rysunek 8).

Za wyjątkiem punktu pomiarowego K2 – Kłodnica poniżej ujścia potoku Czarniawki w Gliwicach gdzie zmierzona wartość wyniosła 1 260,30 mg/kg w pozostałych punktach stężenie cynku w osadach Kłodnicy było prawie na tym samym poziomie pomiędzy 709,79 a 747,41 mg Zn/kg.

Na dopływach najniższe stężenie stwierdzono w potoku Jamna (A) – 92,02 mg/kg. W kolejnych punktach wartości były wyższe: pot. Bielszowicki (B)- 296,43 mg/kg; pot. Gierałtówicki (C)-189,57 mg/kg i czarniawka (D)- 401,43 mg/kg. Stężenie cynku w ostatnim punkcie na Bytomce (E) zdecydowanie wyróżniało się na tle pozostałych punktów i osiągnęło najwyższą wartość 2 317,67 mg/kg.



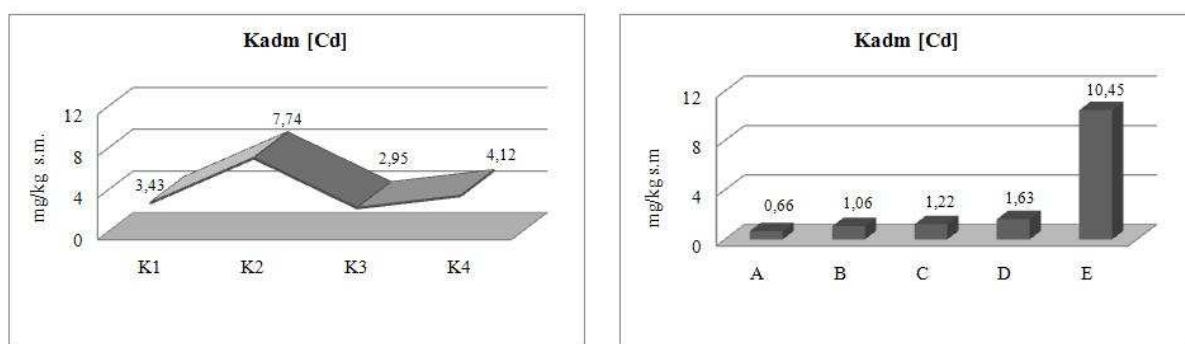
Rysunek 8 Stężenie cynku [Zn] w osadach dennych Kłodnicy (K1 - K4) i na jej dopływach (A-E)

4.4 Kadm

Zawartość kadmu w próbkach osadów dennych w zlewni Kłodnicy zmieniała się w szerokim zakresie od 0,66 do 10,45 mg/kg (Rysunek 9).

W punktach pomiarowych na Kłodnicy stężenia były dość zróżnicowane. W punkcie K1 w Katowicach Brynowie wynosiło 3,43 mg/kg, w Gliwicach poniżej ujścia potoku Czarniawki (K2) wartość wzrosła do 7,74 mg/kg a następnie spadła do 2,95 mg/kg w punkcie K3 poniżej oczyszczalni ścieków w Gliwicach. W ostatnim punkcie w Kędzierzynie Koźlu stężenie nieznacznie wzrosło osiągając wartość 4,12 mg/kg.

W próbkach osadów pobranych na dopływach, za wyjątkiem punktu na Bytomce (E) gdzie stężenie kadmu osiągnęło wartość 10,45 mg/kg, odnotowane wartości były kilkakrotnie niższe niż w Bytomce i mieściły się w zakresie od 0,66 do 1,63 mg/kg.



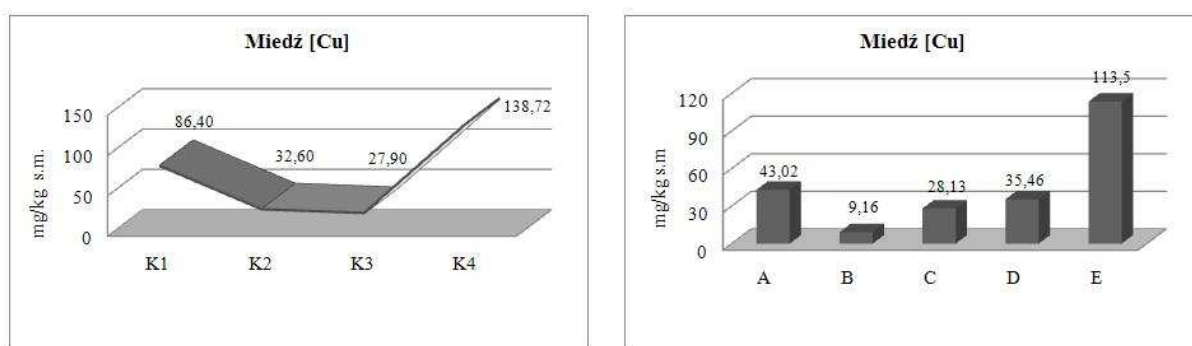
Rysunek 9 Stężenie kadmu [Cd] w osadach dennych Kłodnicy (K1 - K4) i na dopływach (A-E)

4.5 Miedź

Wartości miedzi w osadach dennych zlewni Kłodnicy wahały się od poziomu 9,16 do 138,72 mg/kg (Rysunek 10).

Wzdłuż biegu Kłodnicy wartości stężeń w mierzonych punktach były znaczne. Najwyższe odnotowano w początkowym i końcowym punkcie zlewni - K1 i K4, przy czym większa wartość zmierzona została w odcinku ujściowym. Wartości wynosiły odpowiednio 86,40 mg Cu/kg w punkcie K1 i 138,72 mg Cu/kg w punkcie K4. W środkowym obszarze zlewni w punktach K2 i K3 wartości były zbliżone do siebie i wynosiły odpowiednio 32,60 i 27,90 mg Cu/kg.

Na dopływach najniższą wartość odnotowano w pot. Bielszowickim (B) – 9,16 mg/kg. Zawartości miedzi w osadach potoku Jamna, Gierałtowskim i Czarniawce wahały się na poziomie kilkudziesięciu miligramów Cu/kg. Najwyższą wartość zmierzono w Bytomce i wyniosła ona 113,50 mg/kg.



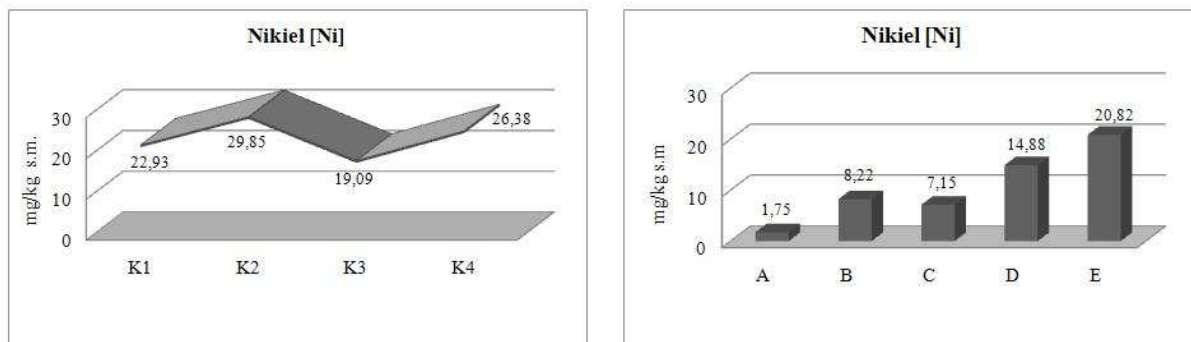
Rysunek 10 Stężenie miedzi [Cu] w osadach dennych Kłodnicy (K1-K4) i na dopływach (A-E)

4.6 Nikiel

Stężenia niklu w analizowanych próbkach osadów wahały się w zakresie od 1,75 do 29,85 mg/kg (Rysunek 11).

Wartości zmierzone w osadach Kłodnicy były zbliżone do siebie i mieściły się w przedziale od 19,09 do 29,85 mg/kg. Najniższy poziom odnotowano w punkcie K3 (Gliwice poniżej oczyszczalni ścieków) a najwyższy poniżej ujścia potoku Czarniawki.

W punktach zlokalizowanych na dopływach wartości niklu były dość zróżnicowane. Najniższe stężenie zmierzono na potoku Jamna (A) – 1,75 mg/kg. W punktach na potoku Bielszowickim (B) i Gierałtowskim (C) wartości nie przekroczyły dziesięciu miligramów. W osadach z potoku Czarniawki stężenie wyniosło 14,88 mg/kg natomiast w próbce pobranej z Bytomki wartość była najwyższa i wyniosła 20,82 mg/kg.



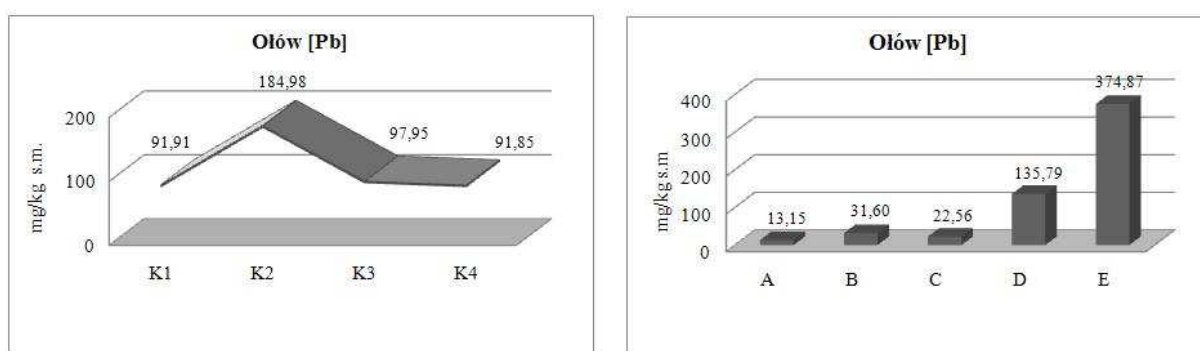
Rysunek 11 Stężenie niklu [Ni] w osadach dennych Kłodnicy (K1- K4) i na dopływach (A-E)

4.7 Ołów

Stężenia ołowiu w wybranych punktach pomiarowych w zlewni Kłodnicy były zróżnicowane i wynosiły od 13,15 do 374,87 mg/kg (Rysunek 12).

Wartości pomierzone w punktach na Kłodnicy za wyjątkiem punktu K2 – poniżej ujścia potoku Czarniawki, były bardzo zbliżone do siebie i mieściły się w zakresie od 91,85 do 97,95 mg/kg. W punkcie K2 zaobserwowano ponad dwukrotny wzrost wartości wynoszący 184,98 mg Pb/kg.

Zawartości ołowiu w próbkach pobranych z dopływów były bardzo różne. Najniższą wartość zanotowano na potoku Jamna (A) – 13,15 mg/kg. Na potoku Bielszowickim (B) i Gierałtowickim (C) wartości były zbliżone do siebie i wynosiły odpowiednio 31,60 i 22,56 mg/kg. W pozostałych dwóch punktach wartości przekroczyły rząd stu miligramów i wyniosły: w Czarniawce (D) – 135,79 mg/kg oraz 374,87 mg/kg w Bytomce (E).



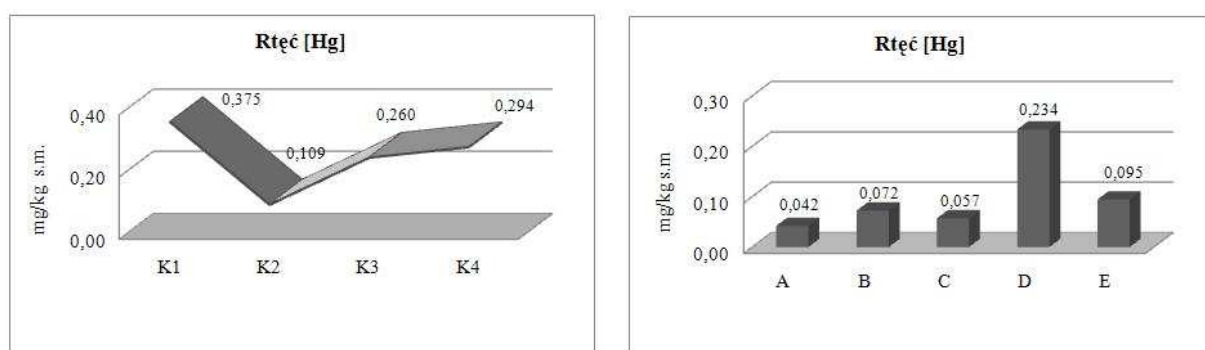
Rysunek 12 Stężenie ołowiu [Pb] w osadach dennych Kłodnicy (K1-K4) i na dopływach (A-E)

4.8 Rtęć

Zawartości rtęci w analizowanych próbkach osadów wahały się w szerokim zakresie od 0,042 do 0,375 mg/kg (Rysunek 13).

Stężenia w osadach Kłodnicy we wszystkich punktach osiągnęły wartości kilku dziesiątych miligramów. Najwyższą wartość odnotowano w punkcie pierwszym w Katowicach – 0,375 mg/kg. W kolejnym punkcie K2 zawartość rtęci w osadzie spadła do wartości 0,109 mg/kg, najniższego poziomu spośród punktów zlokalizowanych na Kłodnicy. W kolejnych punktach stężenia wzrosły i wynosiły: w punkcie K3 – 0,260 mg/kg i w punkcie K4 – 0,294 mg/kg.

Wartości stężeń rtęci w osadach dopływów były dość zróżnicowane. Najniższy poziom odnotowano na potoku Jamna (A) – 0,042 mg/kg. W punktach B, C i E wartości stężeń wynosiły odpowiednio 0,072, 0,057 i 0,095 mg/kg. Najwyższą wartość zbliżoną do stężeń odnotowywanych w osadach Kłodnicy zmierzono w potoku Czarniawka (D) – 0,234 mg/kg.



Rysunek 13 Stężenie rtęci [Hg] w osadach dennych Kłodnicy (K1-K4) i na dopływach (A-E)

5. Omówienie wyników

Pomimo niewielkiej ilości punktów pomiarowych uzyskane wyniki badań pozwalają na dokonanie wstępnej charakterystyki poziomu stężeń metali w osadach dennych Kłodnicy i jej głównych dopływach położonych w zurbanizowanej części zlewni.

Omawiając stopień zanieczyszczenia osadów dennych pomocnym jest określenie wartości tła geochemicznego. Szczególnie przydatne do tego celu są osady z głębszych warstw [1]. W przypadku omawianej zlewni metoda ta jest utrudniona do wykonania gdyż większość cieków wodnych położonych szczególnie w zurbanizowanej części zlewni z Kłodnicą włącznie wielokrotnie ulegała przekształceniom i w chwili obecnej ich koryta są sztucznie ukształtowane np. wybetonowane. Znaczna ilość nagromadzonych osadów oraz występujących w nich związków chemicznych jest pochodzenia antropogenicznego.

Analiza wyników badań na głównych dopływach Kłodnicy wykazuje, że najniższe stężenia metali w osadach dennych (za wyjątkiem As i Cu) występują w potoku Jamna (A). Do 2006 roku potok Jamna zaliczany był do jednego z większych źródeł zanieczyszczeń wód

Kłodnicy. Dopływ był odbiornikiem nieoczyszczonych ścieków komunalnych pochodzących z terenu miasta Mikołowa, które powodowały gwałtowne pogorszenie jakości wód oraz kumulację zanieczyszczeń w osadach dennych, np. metali ciężkich czy łatwo rozkładalnych związków organicznych, których obecność sprzyjała zdolność do ich zagniwania [10]. Dopiero po uruchomieniu miejskiej oczyszczalni ścieków nastąpiła zdecydowana poprawa jakości wód oraz osadów.

Najwyższe stężenia odnotowano natomiast w osadach rzeki Bytomki (E). Zmierzone wartości metali za wyjątkiem Hg są kilka a nawet kilkakrotnie większe od wartości zmierzonych w pozostałych dopływach. Bytomka uchodzi za jeden z najsilniej zanieczyszczonych dopływów. Płyynie przez gęsto zaludnione, przemysłowe tereny miast Bytomia, Zabrze i Gliwic zbierając z ich terenu ścieki komunalne i przemysłowe. Do najważniejszych zakładów przemysłowych należą kopalnie węgla kamiennego, Centralny Zakład Odwadniania Kopalń, Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej czy Metalchem.

Pozostałe dopływy: potok Bielszowicki (B), Gierałtowicki (C) i Czarniawka(D) wykazują podobny stopień zanieczyszczenia.

Analizując wartości arsenu, cynku, kadmu, niklu, i ołowiu w punktach od K1 do K4 możemy wykreślić pewien trend zmian poziomu zanieczyszczeń. Na odcinku od Katowic Brynowa (K1) do Gliwic poniżej ujścia potoku Czarniawka (K2) wartości stężeń wyraźnie wzrastają - dla Cd, Pb i Zn ponad dwukrotnie. Na kolejnym odcinku zawartości metali skumulowanych w osadzie spadają, osiągając wartości zbliżone do zmierzonych w punkcie K1. Wpływ na zaistniałą sytuację wzrostu ilości metali w punkcie K2 ma kilka czynników. Na omawianym odcinku (K1-K2) zlokalizowane są ujścia dwóch najbardziej zanieczyszczonych dopływów – potoku Bielszowickiego i potoku Czarniawki, które wprowadzają do Kłodnicy zarówno silnie zanieczyszczone wody jak i osady wodne [2,18]. Obydwa dopływy są odbiornikami znacznych ilości ścieków komunalnych, przemysłowych oraz wód opadowych, z których duża część wprowadzana jest do wód bez oczyszczania [14]. Cechą charakterystyczną jest także wysoki stopień zanieczyszczenia wód zawiesiną, której głównym źródłem są ścieki pochodzące z terenu kopalń węgla kamiennego (Tabela 2).

Tabela 2 Wartości stężeń zawiesiny w wodach powierzchniowych potoku Czarniawki i potoku Bielszowickim w 2006 r. (wg WIOŚ)

Wartości	Potok Bielszowicki 0,5 km	Potok Czarniawka 2,5 km
mg/l		
minimum	44,20	15,00
maksimum	296,80	4 000,00
średnia	128,86	940,25

Specyficzną własnością osadów powstających z tych zawiesin jest zawartość dużych ilości cząstek węglowych charakteryzujących się właściwościami sorpcyjnymi [6,7]. Zawartości węgla organicznego w osadach dennych w odcinkach ujściowych sięgają 8,5% w potoku Czarniawka i 36,2 % w potoku Bielszowickim [2]. Wprowadzenie do koryta Kłodnicy tak znacznych ilości zawiesin węglowych prawdopodobnie powoduje na nich adsorpcję metali. Wraz z osadzaniem się zawiesiny następuje ich kumulacja w dnie rzeki.

Rozkład stężeń dla pozostałych metali: chromu, miedzi i rtęci jest zdecydowanie różny. Ich zawartości są zdecydowanie wyższe w pierwszym punkcie pomiarowym w Katowicach Brynowie niż w punktach środkowych profilu - K2 i K3, gdzie wartości spadają nawet dwukrotnie (Rysunek 7,10,13). W ostatnim punkcie, w odcinku ujściowym Kłodnicy (K4) odnotowuje się natomiast gwałtowny wzrost wartości, np. od 27,90 do 138,72 mg Cu/kg.

W celu określenia jakości osadów dennych w aspekcie ich zanieczyszczenia metalami ciężkimi wykorzystuje się kryteria geochemiczne (Tabela 3) [13]. Powszechnie stosowaną zasadą jest, że za wartość anomalną pierwiastka w środowisku przyjmuje się stężenie wyższe od sumy średniej zawartości tego pierwiastka i dwóch odchyłeń standardowych określonych dla badanej populacji. Przy określeniu stopnia zanieczyszczenia osadów metalami ciężkimi przyjmuje się następujące kryteria:

- dla osadów niezanieczyszczonych stężenia są od 2 do 5 razy wyższe od tła geochemicznego
- dla osadów miernie zanieczyszczonych stężenia są od 10 do 20 razy wyższe od tła geochemicznego
- dla osadów zanieczyszczonych wartości stężeń są od 20 do 100 razy wyższe od tła geochemicznego.

Dodatkowo przy uściśleniu kryteriów zanieczyszczeń brane są pod uwagę biogeochemiczne właściwości danego metalu tj. mobilności w środowisku czy toksyczności dla biosfery.

Tabela 3 Klasyfikacja osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych

Składnik	Tłó geochemiczne	Osady niezanieczyszczone	Osady miernie zanieczyszczone	Osady zanieczyszczone
ppm = mg/kg				
Arsen (As)	<5	10	30	70
Kadm (Cd)	<0,5	1	3,5	6
Chrom (Cr)	6	50	100	400
Miedź (Cu)	7	40	100	300
Rtęć (Hg)	<0,05	0,2	0,5	1,0
Nikiel (Ni)	6	16	40	50
Ołów (Pb)	15	30	100	200
Cynk (Zn)	73	200	500	1000

W odniesieniu do powyższych zasad w tabeli 4 przedstawiono klasyfikację osadów w poszczególnych punktach pomiarowych zlewni Kłodnicy.

Tabela 4 Klasyfikacja osadów dennych Kłodnicy (K1-K4) i jej dopływów (A-E) na podstawie kryteriów geochemicznych

Punkty pomiarowe	Metale ciężkie							
	Arsen	Chrom	Cynk	Kadm	Miedź	Nikiel	Ołów	Rtęć
K1	0	0	++	+	+	+	+	+
K2	0	0	+++	+++	0	+	++	0
K3	0	0	++	+	0	+	+	+
K4	+	+	++	++	++	+	+	+
A	0	0	0	0	+	0	0	0
B	0	0	+	+	0	0	+	0
C	0	0	0	+	0	0	0	0
D	0	0	+	+	0	0	++	+
E	+	+	+++	+++	++	+	+++	0

Objaśnienia:

(0) – osady niezanieczyszczone

(+) – osady miernie zanieczyszczone

(++) – osady zanieczyszczone

(+++) – osady silnie zanieczyszczone

W sytuacji podjęcia decyzji o usunięciu nagromadzonych w korytach rzek osadów niezbędne jest odniesienie się do przepisów prawa, które jasno określają czy wydobyty urobek kwalifikowany jest jako zanieczyszczony. Według obowiązującego rozporządzenia Ministra Środowiska (Dz.U.Nr 55, poz. 498) urobek jest traktowany jako zanieczyszczony, gdy stężenie co najmniej jednej z substancji osiągnęło wartość podaną w załączniku do rozporządzenia (Tabela 5) [17].

Tabela 5 Stężenia metali w osadach które kwalifikują go jako urobek zanieczyszczony
(wg Dz.U.Nr 55, poz. 498)

Arsen	równy lub wyższy 30 mg/kg suchej masy
Chrom	równy lub wyższy 200 mg/kg suchej masy
Cynk	równy lub wyższy 1 000 mg/kg suchej masy
Kadm	równy lub wyższy 7,5 mg/kg suchej masy
Miedź	równy lub wyższy 150 mg/kg suchej masy
Nikiel	równy lub wyższy 75 mg/kg suchej masy
Ołów	równy lub wyższy 200 mg/kg suchej masy
Rtęć	równy lub wyższy 1 mg/kg suchej masy

Według powyższych kryteriów biorąc pod uwagę tylko stężenia metali ciężkich, jako urobek zanieczyszczony traktowane byłyby osady wydobyte w punktach pomiarowych K2 - Kłodnica poniżej ujścia potoku Czarniawki oraz w punkcie E – na Bytomce, w których wystąpiły przekroczenia dla dopuszczalnych wartości cynku, kadmu oraz ołowiu.

6. Literatura

- [1] Bojakowska I.: /Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych/. Przegląd geologiczny, 49, nr 3, 213-218 (2001).
- [2] Bujok R. i inni: /Wpływ antropogenicznych osadów i namulów rzecznych na przemiany zanieczyszczeń w wodach płynących./ Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowanych, praca niepublikowana (2007)
- [3] EPA 823-F-04-008: /What do you need to know about mercury in fish and shellfish/ (2004).
- [4] EPA 823-R-97-006: /The incident and severity of sediment contamination in surface waters of the United States./ (1997).

- [5] Helios-Rybicka E., Adamiec E., Aleksandeer-Kwaterczak U.: /Distribution of trace metals in the Odra River system: Water – suspended matter-sediments./ *Limnologica* 35, 185-198 (2005)
- [6] Jih-Gaw L., Shen-Yi Ch.: /The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments./ *Environment International*, Vol. 23, No. 3, 345-352 (1998)
- [7] Kostecki M., Domurad A., Kowalski E., Kozłowski J.: /Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Cz. III metale ciężkie w osadach dennych zbiornika./ *Archiwum Ochrony Środowiska*, 24, 73-81 (1998)
- [8] Kostecki M.: /Zawartość metali ciężkich w mięsie i wątrobie niektórych gatunków ryb z antropogenicznego zbiornika wodnego Dzierżno Duże./ *Archiwum Ochrony Środowiska*, 26, 109-125 (2000).
- [9] Kostecki M.: /Wpływ zabudowy kaskadowej na zawartość metali ciężkich w osadach dennych kanału Gliwickiego./ *Archiwum Ochrony Środowiska*, 27, 63-87 (2001)
- [10] Kostecki M., Kozłowski J.: /Związki azotu i fosforu w wodzie i osadach dennych Kanału Gliwickiego./ *Archiwum Ochrony Środowiska*, 28, 71-86 (2002)
- [11] Lis J., Pasieczna A.: /Atlas geochemiczny Polski w skali 1: 2 500 000./ Państwowy Instytut Geologiczny (1995).
- [12] Lis J., Pasieczna A.: /Atlas geochemiczny Górnego Śląska w skali 1: 200 000./ Państwowy Instytut Geologiczny (1995).
- [13] Państwowy Instytut geologiczny: /www.pig.gov.pl/
- [14] Program „Przyjazna Kłodnica”.
- [15] Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej Gliwice /www.rzgw.gliwice.pl/
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz. U. 2002 Nr 134 poz. 1140.
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony, Dz. U. 2002 Nr 55 poz. 498.
- [18] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach /Dane monitoringu śródlądowych wód powierzchniowych, 2006 rok./ (2006)
- [19] Woron J., Danowska B.: /Warunki środowiskowe polskiej strefy południowego Bałtyku w 2001 roku./ *Materiały Oddziału Morskiego IMGW, Gdynia*, ISBN 83-89786-16-8 (2004).