

ZANIECZYSZCZENIE WYBRANYMI METALAMI CIĘŻKIMI OSADÓW DENNYCH ZALEWU NOWOHUCKIEGO

Paweł Mundala¹, Artur Szwalec¹, Zbigniew Siejka², Renata Kędzior¹, Krzysztof Lipka³

¹Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

²Katedra Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 253a, 30-149 Kraków

³Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
e-mail: rmmundal@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie. Celem badań była ocena stanu zanieczyszczenia Cd, Pb, Zn, Cu, Cr i Ni osadów dennych Zalewu Nowohuckiego. Zbiornik ten wybudowano jako rekreacyjny w Krakowie, w zlewni rzeki Dłubnia, od ponad 60 lat poddanej emisji metali ciężkich z Kombinatu Metalurgicznego Nowa Huta. Na zbiorniku wyznaczono osiem obszarów badawczych, z których w sposób losowy w oparciu o siatkę kwadratów pobierano próbki pierwotne osadów. Stwierdzono, że zawartości wszystkich badanych metali przekraczają wartości tła geochemicznego dla osadów wód powierzchniowych Polski. Natomiast jedynym z analizowanych pierwiastków, którego średnie stężenie nie przekracza wartości tła geochemicznego dla osadów dennych wód powierzchniowych rejonu śląsko-krakowskiego, jest kadm. Zgodnie z klasyfikacją przyjętą przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG) badane osady należy uznać za średnio zanieczyszczone cynkiem oraz miernie zanieczyszczone kadmem i cynkiem a także nikiem. Na podstawie potencjalnie wnoszonych ładunków cynku i chromu należy odrzucić możliwość wykorzystania tych osadów w rolnictwie do poprawy właściwości gleb. Można rozważyć utylizację tych osadów w rekultywacji składowisk odpadów, kształtowaniu obszarów zieleni miejskiej oraz w zalesieniach, w tym ostatnim przypadku w przygotowaniu gleb, które miałyby być zalesione.

Słowa kluczowe: osady denne, Zalew Nowohucki, metale ciężkie

WSTĘP

Pierwiastki śladowe wprowadzane są do środowiska w wyniku naturalnych procesów przyrodniczych oraz działalności antropogenicznej (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Głosińska i Siepak 2006). Zanieczyszczenie zbiorników wodnych metalami

ciężkimi zależy w dużej mierze od poziomu antropopresji w zlewni, a w szczególności od: stopnia zurbanizowania terenu, wielkości i intensywności produkcji rolnej oraz przemysłowej (McBride 1989). Niezależnie od źródła, migrujące do wód pierwiastki w wyniku procesów charakterystycznych dla ekosystemów wodnych, tj. sedymentacji i sorpcji, deponowane są przede wszystkim w osadach dennych (Yousef i in. 1994, Quevauviller 2001). Z tego względu są one obecnie powszechnie wykorzystywane jako jeden ze wskaźników stopnia degradacji środowiska przyrodniczego (Dyrektywa WE nr 2000/60). W Polsce od kilkunastu lat w ramach PMŚ prowadzony jest monitoring osadów dennych jezior i rzek (GIOŚ 2014). Monitoringiem tym nie są jednak objęte małe lokalne zbiorniki wodne, które powstawały dla celów rekreacyjnych w strefach ochronnych lub buforowych dużych zakładów przemysłowych. Przykładem takiego zbiornika jest właśnie Zalew Nowohucki, oddany do użytku prawie równocześnie z Kombinatem Metalurgicznym im. Lenina w Nowej Hucie-Krakowie. Celem badań była ocena stanu zanieczyszczenia wybranymi metalami ciężkimi osadów dennych Zalewu Nowohuckiego.

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Zalew Nowohucki położony jest w Bieńczycach, pomiędzy osiedlem Szkolnym a dawną wsią Krzesławice. Zbiornik ten został wybudowany w 1952 r. dla potrzeb rekreacyjnych. Miał stanowić część pasa zieleni chroniącego dzielnicę Nowa Huta przed zanieczyszczeniami pochodzącymi z zakładów hutniczych. Zalew położony jest w zlewni rzeki Dłubni, z której poprzez Młynówkę zasilany jest wodą. Kształt zbiornika jest zbliżony do prostokąta o wymiarach ok. 500 x 140 m, co daje powierzchnię ok. 6,6 ha, jego średnia głębokość wynosi ok. 2 m. Pośrodku zbiornika wybudowana została sztuczna wyspa (ok. 0,15 ha), gdzie obecnie gnieździ się dzikie ptactwo, zbiornik jest również zarybiony. W badaniach mających na celu obliczenie objętości osadów zgromadzonych w zbiorniku stwierdzono, że powierzchnia dna zbliżona jest do jednostajnej płaszczyzny poziomej, a miąższość osadów w węzłowych punktach założonej siatki pomiarowej nie przekracza 0,8 m. Przeprowadzone prace terenowe i obliczenia pozwoliły oszacować kubaturę zgromadzonych osadów na 23 500 m³ (Lipka i in. 2006).

METODYKA BADAŃ

W pierwszym etapie prac przygotowawczych do realizacji zadania zasadniczego, w oparciu o pilotażowe sondowania dna Zalewu Nowohuckiego, określono przybliżone ukształtowanie jego dna oraz wysokości warstw osadów (Lipka i in. 2006). Na tej podstawie wyznaczono osiem jednolitych obszarów badawczych (rys. 1). Następnie w analogii do opracowania numerycznego modelu terenu, które

Gaździcki (1990) zdefiniował jako „numeryczną reprezentację powierzchni terenu, utworzonej poprzez zbiór odpowiednio wybranych punktów leżących na tej powierzchni oraz algorytmów interpolacyjnych umożliwiających jej odtworzenie w określonym obszarze”, dla badanego obszaru dna zbiornika wodnego wykorzystano model GRID. W tym celu zbiornik i jego obszary brzegowe pokryto regularną siatką kwadratów o boku 20 m (rys. 1), której punkty węzłowe posłużyły jako potencjalne punkty badawcze.



Rys. 1. Ortofotomapa Zalewu Nowohuckiego z siatką kwadratów, wydzielonymi obszarami badawczymi i punktami badawczymi

Fig. 1. A Nowa Huta Lake orthophotomap, with a grid of squares, research areas and research points

Kolejnym krokiem była georeferencja zaprojektowanej siatki GRID do istniejącej ortofotomapy i obliczenie powierzchni poszczególnych obszarów badawczych. Obliczone na podstawie współrzędnych powierzchnie obszarów badawczych wyniosły odpowiednio: obszar 1 – 6380 m², obszar 2 – 7420 m², obszar 3 – 7730 m², obszar 4 – 7220 m², obszar 5 – 10480 m², obszar 6 – 10520 m², obszar 7 – 9600 m², obszar 8 – 7440 m². Tak przygotowany plan batymetryczny zbiornika posłużył w dalszym etapie do realizacji założonych badań empirycznych. W każdym z obszarów w sposób losowy wybrano po 10 punktów badawczych, w których za pomocą świdra Instorf pobierano próbki pierwotne osadów i jednocześnie określano

precyzyjnie metodą geodezyjną aktualną głębokość zbiornika i miąższości warstw osadów zalegających na jego dnie. Szczegółowy sposób wyznaczenia siatki kwadratów podano w innej pracy autorów publikacji (Lipka i in. 2006). Próbkę pierwotnie homogenizowano, uzyskując dla każdego obszaru badawczego próbkę uśrednioną o masie ok. 750 g ś.m. W zebranych materiale po wysuszeniu do powietrzni suchej masy i przesianiu przez sito polietylenowe o średnicy oczek 1 mm przeprowadzono mineralizację na mokro w mieszaninie stężonych kwasów (azotowego V i chlorowego VII), do ekstrakcji kationów Cd, Pb, Zn, Ni, Cr i Cu użyto kwasu solnego. Oznaczenia zawartości w/w pierwiastków śladowych wykonano metodą płomieniową na spektrofotometrze absorpcji atomowej Solaar M6. Każda próbka była mineralizowana trzy razy. Zawartość substancji organicznej oznaczono metodą termiczno-wagową (Ostrowska i in. 1991).

WYNIKI I DYSKUSJA

Poznanie właściwości osadów jest bardzo ważne, szczególnie w odniesieniu do małych zbiorników wodnych, m.in. ze względu na szybkie tempo ich zamulania i konieczność okresowego ich odmulania (Madeyski i in. 2008). Proces intensywnego zamulania jest szczególnie widoczny w przypadku zbiorników Zesławice zlokalizowanych w tej samej zlewni, tj. na rzece Dłubni powyżej Zalewu Nowohuckiego (Michalec i in. 2009, Michalec 2014). Osad denny deponowany w badanym zbiorniku złożony jest głównie z frakcji materiału naniesionego przez rzekę Dłubnię. Poza tym niewielki procent może pochodzić ze spływu bezpośredniego, z terenu przylegającego do obiektu oraz tzw. suchego opadu. Należy pamiętać, że zbiornik położony jest na obszarze objętym (szczególnie w przeszłości) znaczącymi emisjami przemysłowymi, co ma wpływ na wzbogacenie wierzchnich warstw gleby w analizowane metale (Mundała i in. 2013). W spągowych warstwach badanych osadów stwierdzono także obecność szarego piasku, który zastosowano w procesie budowy zbiornika dla zabezpieczenia głębiej położonej warstwy iltu (Lipka i in. 2006).

Analizowane osady denne charakteryzowały się stosunkowo wyrównanymi stężeniami badanych metali. Współczynniki zmienności były niskie, najwyższy wyliczony dla cynku wyniósł zaledwie 32,5%, dla ołowiu i niklu wyniosły odpowiednio 22,9 i 21,9%. Współczynniki zmienności dla pozostałych metali oscylowały około 10%. Podobnie było z zawartością substancji organicznej, gdzie omawiany współczynnik wyniósł 12,3%. Najwyższą zawartość kadmu, 1,011 mg·kg⁻¹ s.m., oznaczono w próbce pobranej w rejonie końcowej części plaży (obszar 2). Osad ten charakteryzował się również najwyższą zawartością chromu 33,37 mg·kg⁻¹ s.m. (tab. 1). W odniesieniu do obydwu wymienionych metali należy zauważyć, iż ich zawartości są znacznie niższe od oznaczonych przez Bąka i in. (2013) w osadach zbiornika Suchedniów.

Tabela 1. Zawartości wybranych metali ciężkich w osadach dennych Zalewu Nowohuckiego wraz z ich klasyfikacją według Państwowego Instytutu Geologicznego (Bojakowska 2001)**Table 1.** Heavy metal content in Nowa Huta Lake sediments and their classification acc. to the Polish Geological Institute

Nr No	Zawartość w mg·kg ⁻¹ s.m. Content in mg kg ⁻¹ d.m.						Zaw. subst. org. % org. matter cont.	Klasyfikacja wg PIG, pierwiastek PGI classification, element
	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr		
1	0,800	34,94	327,98	18,62	10,25	25,80	4,74	III, Zn
2	1,011	30,69	192,07	15,94	17,49	33,37	4,61	II, Cd, Zn, Ni
3	0,817	32,41	314,45	12,85	9,28	25,15	4,18	III, Zn
4	0,794	31,17	304,37	16,28	10,27	23,70	5,30	III, Zn
5	0,997	31,01	329,61	13,73	13,69	29,37	4,11	III, Zn
6	0,851	30,10	387,53	13,50	9,69	25,36	4,11	III, Zn
7	0,891	54,71	587,76	16,73	10,97	26,45	6,04	III, Zn
8	0,905	29,62	208,52	14,17	15,01	31,29	4,06	II, Cd, Zn

Oznaczona zawartość chromu jest też kilkukrotnie niższa od jego stężenia podawanego przez Skwierawskiego i Sidoruka (2011) dla osadów zbiornika Płociduga zlokalizowanego na terenie Olsztyna. Średnia zawartość kadmu 0,88 mg·kg⁻¹ s.m. (tab. 1), jest zbliżona do średnich zawartości tego pierwiastka oznaczonych przez Szafrana (2003) w osadach jezior Syczyńskiego, Sumin i Rotcze. Najwyższym stężeniem ołowiu 54,71 mg·kg⁻¹ s.m. charakteryzowała się próba pobrana w obszarze badawczym nr 7. W osadzie tym wystąpiła również najwyższa zawartość cynku 587,76 mg·kg⁻¹ s.m. (tab 1). Mediany stężeń ołowiu i cynku (tab. 2) były wyższe od wartości podawanych przez Biel i Pasieczną (2012) dla osadów zbiornika Dzieńkowice. Zawartości tych metali były równocześnie znacząco niższe od oznaczonych w osadach zbiornika Płociduga przez Skwierawskiego i Sidoruka (2011). Średnie stężenie ołowiu było porównywalne z wartościami podawanymi przez Szafran (2003) dla osadów jezior Syczyńskiego i Sumin, wyższe natomiast od średniej zawartości w osadach jeziora Rotcze. Najwyższe stężenie miedzi, 18,62 mg·kg⁻¹ s.m., stwierdzono w próbce osadu pobranej w obszarze badawczym nr 1 zlokalizowanym w północnej części zbiornika, w rejonie początkowej części plaży. Zawartość tego pierwiastka była niższa od podawanej przez Gałkę i Wiatkowskiego (2010) dla osadów dennych zbiornika wodnego Psurów. Wyraźnie niższe średnie stężenia miedzi w osadach jezior Syczyńskiego, Sumin i Rotcze podaje Szafran (2003). Oznaczone w badanych osadach najwyższe stężenie niklu, 17,49 mg·kg⁻¹ s.m., wystąpiło w osadzie pobranym w obszarze badawczym nr 2 położonym w rejonie końca plaży. Pierwiastek ten występował w niższym zakresie niż oznaczony w osadach zbiornika Suchedniów przez Bąka i in. (2013), a równocześnie znacząco wyższym od podawanego przez Biel i Pasieczną dla osadów zbiornika Dzieńkowice (2012). Średnie zawartości tego metalu były porównywalne do oznaczonych przez

Zawiszę i in. (2014). w osadach dennych zbiornika Chechło. Państwowy Instytut Geologiczny w ramach monitoringu środowiska (GIOŚ 2014) prowadzi wieloletnie badania składu geochemicznego osadów dennych zarówno jezior, jak i rzek. Badania te pozwoliły m.in. na ocenę poziomu tła geochemicznego osadów dennych wód powierzchniowych Polski (Lis i Pasieczna 1995a), jak i wyodrębnionego ze względu na anomalie geochemiczną regionu śląsko-krakowskiego (Lis i Pasieczna 1995b) (tab. 3).

Tabela 2. Wybrane statystyki z oznaczonych zawartości metali ciężkich w osadach dennych Zalewu Nowohuckiego

Table 2. Selected statistics for the content of heavy metals in sediments of Nowa Huta Lake

Statystyka / Statistic	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd
	mg·kg ⁻¹ s.m. / mg kg ⁻¹ d.m.						
Śr. arytm. / Arithmetic mean	0,883	34,33	331,54	15,23	12,08	27,56	4,64
Śr. geom. / Geometric mean	0,880	33,58	313,92	15,12	11,79	27,34	4,60
Mediana / Median	0,874	31,69	325,86	15,02	10,54	26,82	4,40
Odchylenie / Standard deviation	0,075	7,871	107,897	1,790	2,641	3,342	0,57
Współczynnik zmienności % Coefficient of variation %	8,5	22,9	32,5	11,7	21,9	12,1	12,3

Tabela 3. Wybrane zawartości metali w osadach dennych Zalewu Nowohuckiego zestawione z danymi literaturowymi (Lis i Pasieczna 1995a, 1995b, Salminen 2005)

Table 3. Selected data from Nowa Huta Lake sediments collated in comparison to literature data (Lis and Pasieczna 1995a, 1995b, Salminen 2005)

Pierwiastek Element	Zalew Nowohucki Nowa Huta Lake			Tło geochemiczne osadów dennych Geochemical background of sediments		
	Min	Max	Śr. geom.	Reg. Śląsko- Krakowski	Wody pow. Polski	Strumieniowe Europy
			Geom. mean	Silesia- Krakow region	Polish surface water	European stream water
zawartość w mg·kg ⁻¹ s.m. / content in mg kg ⁻¹ d.m.						
Cd	0,794	1,011	0,880	2,500	0,500	0,290
Cr	23,70	33,37	27,34	9,00	5,00	22,00
Cu	12,85	18,62	15,12	15,00	7,00	15,00
Ni	9,28	17,49	11,79	11,00	6,00	17,00
Pb	29,62	54,71	33,58	59,00	13,00	14,00
Zn	192,07	587,76	313,92	259,00	62,00	60,00

Wszystkie średnie geometryczne zawartości badanych metali w osadach Zalewu Nowohuckiego są wyższe od tła geochemicznego osadów wód powierzchniowych Polski. Kadm jest jedynym z badanych metali, którego średnie stężenie nie przekracza wartości tła geochemicznego dla osadów dennych wód powierzchniowych rejonu śląsko-krakowskiego (tab. 2). W przypadku średnich zawartości miedzi oraz

niklu przekroczenia te są nieznaczne. Najmniej korzystnie relacja ta wygląda w odniesieniu do chromu, którego średnia geometryczna zawartość ponad trzykrotnie przekracza wartości tła charakterystycznego dla anomalii geochemicznej w rejonie śląsko-krakowskim. Poza niklem w odniesieniu do wszystkich pozostałych badanych metali należy zauważyć, iż ich średnie zawartości przekraczają tło geochemiczne podawane dla osadów strumieniowych Europy przez Salminen (2005) (tab. 2). Przyjmując do oceny zanieczyszczenia badanych osadów kryteria zaproponowane przez Bojakowską (2001), należy uznać je za średnio zanieczyszczone cynkiem (obszary 1, 2, 3, 4, 5, 6) oraz miernie zanieczyszczone kadmem i cynkiem (obszary 1 i 7), a także niklem (obszar 1). Zgodnie z przyjętą klasyfikacją (Bojakowska 2001) osady III klasy charakteryzujące się wyższą zawartością szkodliwych składników mogą być relokowane w wodzie w wyznaczonych miejscach, a na lądzie zagospodarowane w stopniu ograniczonym, ze względu na to, że stężenie niektórych zanieczyszczeń może ograniczyć wykorzystanie osadów tylko do upraw przemysłowych, a niekiedy w ogóle wykluczyć ich rolnicze zagospodarowanie. Jedynym aktem prawnym, jaki obowiązywał w naszym kraju, określającym dopuszczalną zawartość zanieczyszczeń w osadach dennych było rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz.U. z 2002 r. nr 55, poz. 498). Dziś (tj. od stycznia 2013) dzięki kolejnym nowelom ustawy o odpadach, czyli zmianach w podstawie prawnej, omawiane rozporządzenie nie obowiązuje. Zgodnie z zaproponowanymi tam dopuszczalnymi wartościami badane osady należy uznać za niezanieczyszczone analizowanymi metalami, czyli nadające się m.in. do zagospodarowania na lądzie. Do oceny zawartości metali ciężkich w glebie powszechnie stosowana jest metoda Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) (Kabata-Pendias i in. 1995). Jedną z właściwości fizykochemicznych gleby wykorzystywaną w tej metodzie jest zawartość substancji organicznej. Jej zawartość powyżej 6% pozwala zaklasyfikować (bez brania pod uwagę wartości pH i zawartości frakcji spławialnej) badaną glebę do grupy b-g, tj. grupy o średnich liczbach granicznych dla badanych metali. Wśród zebranego materiału jedynie próbka z obszaru numer 6 pobrana w rejonie Domu Wędkarza cechowała się zawartością substancji organicznej powyżej 6% (tab. 1). Jest to jednak tak minimalne przekroczenie wartości progowej, że z punktu widzenia przyjętej metody oceny należy je z pominąć. Ogólnie można orzec, iż oceniane próby osadu zawierały stosunkowo niewiele substancji organicznej (Siuta 1995). Znacznie wyższe zawartości materii organicznej w wierzchniej warstwie osadów zbiornika Płociduga (18-36%) stwierdzili Skwierawski i Sidoruk (2011). W badaniach prowadzonych na jeziorach Syczyńskie, Sumin i Rotcze Szafran (2003) odnotowała również wysoką zawartość materii organicznej w śródziejerzu, od 24,64 do 41,2%. W rozważaniu potencjalnego wykorzystania badanego osadu do nawożenia gleby należy pamiętać, że gleba jest

ekosystemem, dlatego właściwsze jest rozpatrywanie jej chemizmu po wprowadzeniu osadu niż chemizmu samego dodatku. Z punktu widzenia metody IUNG (Kabata-Pendias i in. 1995) zawartość cynku w przebadanym osadzie jest czynnikiem ograniczającym ilość zastosowanego osadu jak i rodzajów gleb, na których może być on zastosowany. Cynk jest mikroelementem, którego nadmierna zawartość w glebie jest często bagatelizowana. Kabata-Pendias i Pendias (1999) określają dopuszczalną zawartość tego metalu w glebie na $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., by w konsekwencji kolejnych badań zwiększyć ją do $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (1999). Granica ta jest podawana jako zawartość toksyczna dla roślin. Metale bezsprzecznie toksyczne jak kadm, ołów lub arsen (Kabata-Pendias i Pendias 1999), wprowadzane do gleby o naturalnej zawartości tych pierwiastków, wraz z nawożeniem badanym osadem będą zwiększały ich ładunek w glebie. Z tego powodu należy wykluczyć zastosowanie takiego dodatku na glebach już zanieczyszczonych metalami ciężkimi, czy wykorzystywanych do produkcji warzyw. W ramach symulacji utylizacji badanego osadu na glebach użytków rolnych przyjęto następujące założenia (Siuta 1995, Kabata-Pendias i Pendias 1999): wariant pierwszy – gleba organiczna o gęstości objętościowej $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, zawartości kadmu $0,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., ołowiu $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., cynku $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., miedzi $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., niklu $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., chromu $8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., ilość wprowadzanego osadu $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ przy jego wilgotności na poziomach 30 i 50%. Wariant drugi – gleba mineralna, o gęstości objętościowej $1500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, zawartości kadmu $0,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., ołowiu $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., cynku $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., miedzi $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., niklu $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. oraz chromu $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

Wykorzystanie gleb użytków rolnych do zagospodarowania przebadanego osadu na glebach organicznych spowoduje wprowadzenie około połowy (53%) niklu w wariantcie bardziej odwodnionego osadu (30% wilgotności) (tab. 4), natomiast aż 75% zgromadzonego tam ładunku chromu. Ładunek pozostałych metali zostanie zwiększony do 15% dla cynku i po kilka procent dla pozostałych metali (tab. 3.). Dla osadów o wilgotności 50% wilgotności potencjalnej wzbogacenie gleb jest mniejsze (tab. 3.), odpowiednie do ilości wody w dawce osadu. Znacznie lepiej rysuje się perspektywa wykorzystania opisywanego osadu na glebach mineralnych. Zastosowanie zaproponowanej dawki, niezależnie od jej wilgotności, spowoduje wprowadzenie do gleby, wraz z zastosowanym osadem, metali w nieznacznych ilościach, nie przekraczających setnych części procenta omawianych metali. Na podstawie wnoszonych ładunków chromu i niklu należy odrzucić możliwość wykorzystania badanego osadu do nawożenia lekkich gleb ornyc. Przy ewentualnej konieczności jego utylizowania w rolnictwie należy na glebach lekkich zmniejszyć proponowaną dawkę dziesięciokrotnie.

Tabela 4. Ładunki kadmu, cynku, niklu, ołowiu, miedzi i chromu w glebach (organicznej i mineralnej, warstwa 0-20 cm) o naturalnych zawartościach tych pierwiastków i wprowadzony z 50 t·ha⁻¹ przebadanego osadu dennego z przyjętymi wilgotnościami 30 i 50% oraz procentowy udział wprowadzonych metali do ładunku gleby

Table 4. Loads of cadmium, zinc, nickel, lead, copper and chromium in soils (organic and mineral, layer 0-20 cm) with natural contents of these elements, and supplemented with the 50 t ha⁻¹ of the examined sediment with from accepted moisture of 30 and 50%, and percentage shares of metals introduced into the soil load

Wariant / Variant	kg·ha ⁻¹					
	Cd	Zn	Ni	Cr	Cu	Pb
Gleba organiczna / Organic soil	0,48	80	0,8	1,28	16	32
Gleba mineralna / Mineral soil	2,1	300	45	60	75	180
Dawka osadu (30% wilg.) Dose of sediment (moisture)	0,0309	11,6039	0,4228	0,9646	0,5331	1,2016
Dawka osadu (50% wilg.) Dose of sediment (moisture)	0,0221	8,2885	0,3020	0,6890	0,3808	0,8583
Procentowy udział ładunku Percentage share of load	%					
Gleba organiczna, 30% wilgotności osadu Organic soil 30% sediment moisture	6	15	53	75	3	4
Gleba organiczna, 50% wilgotności osadu Organic soil 50% sediment moisture	5	10	38	54	2	3
Gleba mineralna, 30% wilgotności osadu Mineral soil 30% sediment moisture	1	4	1	2	1	1
Gleba mineralna, 50% wilgotności osadu Mineral soil 50% sediment moisture	1	3	1	1	1	0

WNIOSKI

1. Zawartości wszystkich badanych metali w osadach Zalewu Nowohuckiego przekraczają wartości tła geochemicznego dla osadów wód powierzchniowych Polski.

2. Spośród przebadanych metali jedynie średnie stężenia kadmu i ołowiu nie przekraczają wartości tła geochemicznego dla osadów dennych wód powierzchniowych regionu śląsko-krakowskiego.

3. Zgodnie z klasyfikacją przyjętą przez PIG badane osady należy uznać za średnio zanieczyszczone cynkiem (obszary 1, 2, 3, 4, 5 i 6), oraz miernie zanieczyszczone kadmem i cynkiem (obszary 1 i 7), a także niklem obszar 1.

4. Przy ewentualnemu utylizowaniu badanych osadów na glebach użytków rolnych należy na glebach organicznych zmniejszyć proponowaną dawkę dziesięciokrotnie tj. do 5 t·ha⁻¹. Na glebach mineralnych może pozostać zaproponowana dawka tj. 50 t·ha⁻¹ osadu.

PIŚMIENNICTWO

- Bąk Ł., Górski J., Rabajczyk A., Szwed M., 2013. Zawartość związków metali ciężkich w osadach zbiornika Suchedniów. *Proceedings of ECOpole*, 7(1), 287-294. DOI: 10.2429/proc.2013.7(1)039. http://tchie.uni.opole.pl/PECO13_1/PECO_2013_1_part1.pdf dostęp na 13.07.2015.
- Biel A., Pasieczna A., 2012. Charakterystyka geochemiczna osadów i wód zbiornika Dzieńkowice (Jeziora Imielińskiego), Południowa Polska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 450, 1-8.
- Bojakowska I., 2001. Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. *Przeł. Geol.*, 49(3), 213-218.
- Dyrektywa nr 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32000L0060> dostęp na 13.07.2015.
- Gałka B., Wiatkowski M., 2010. Metale ciężkie w wodzie i osadach dennych małego zbiornika wodnego Psurów. *Environ. Prot. Natural Resou*, 42, 225-232.
- Gaździcki J., 1990. Systemy informacji przestrzennej. Monografia. Polskie Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych. Warszawa-Wrocław.
- GIOŚ, PMS., 2014. Badania osadów wodnych rzek i jezior. www.gios.gov.pl dostęp na dzień 18 lipca 2015.
- Głosińska G., Siepak J., 2006. Metale ciężkie w obszarze równin zalewowych. *Ekologia*, 3 (35), 36-39.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Motowiecka-Terelak T., Piotrowska M. Terelak H., Witek T., 1995. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy.
- Lipka K., Godek K., Siejka Z., 2006. Technologia pomiaru i obliczenia objętości warstwy osadów dennych w zbiorniku wodnym Zalew Nowohucki. *Zeszyt. Nauk. AR w Krakowie*, 431(22), 131-140.
- Lis J., Pasieczna A., 1995. *Atlas Geochemiczny Polski 1: 2 5000 000* Państwowy Instytut Geologiczny Warszawa.
- Lis J., Pasieczna A., 1995. *Atlas Geochemiczny Górnego Śląska 1: 2 5000 000* Państwowy Instytut Geologiczny Warszawa.
- McBride M.B., 1989. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science*, 10, 1-56.
- Madeyski M., Michalec B., Tarnawski M., 2008. Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych. *Monografia. Infrara. Ekol. Terenów Wiejskich*, 11(7).
- Michalec B., 2014. Charakterystyka zamulania małych zbiorników wodnych w układzie kaskadowym i równoległym za pomocą wskaźnika sedymentacji. *Infra. Ekol. Terenów Wiejskich*, 4(2), 1271-1282.
- Michalec B., Pęczek K., Strutyński M., 2009. Wskaźnik denudacji mechanicznej zlewni małego zbiornika wodnego. *Infra. i Ekol. Terenów Wiejskich*, 4, 101-108.
- Mundała P., Szwalec A., Petryk A., 2013. Zawartość wybranych pierwiastków śladowych w glebach położonych w sąsiedztwie Kombinatu Metalurgicznego w Nowej Hucie. *Inżynieria Ekologiczna*, 33, 67-76.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Quevauviller P., 2001. Harmonisation, standardisation for soil and sediment fractionation studies, and usefulness in assessment and risk management. *J. Soil Sci.*, 1(3), 175-180.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony. (Dz.U. 2002 r. nr 55. poz. 498).

- Salminen R., 2005. Geochemical Atlas of Europe part 1. Geological Survey of Finland Espoo. <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/> dostęp na 13.07.2015.
- Siuta J., 1995. Gleba. Diagnozowanie stanu i zagrożenia. Monografia. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Skwierawski A., Sidoruk M., 2011. Zawartości metali ciężkich w profilach osadów dennych antropogenicznie przekształconego zbiornika Płociduga w Olsztynie Proceedings of EC Opolo, 5(1).
- Szafran K., 2003. Metale ciężkie w osadach dennych trzech płytkich jezior Łęczyńsko-Włodawskich Acta Agroph., 1(2), 329-337
- Yousef Y.A., Lin L.Y., Lindeman W., Hvitved-Jacobsen T., 1994. Transport of heavy metals through accumulated sediments in wet ponds. Sci. Total Environ., 146-147:485-491. DOI:10.1016/0048-9697(94)90273-9.
- Zawisza E., Michalec B., Gruchot A., Tarnawski M., Baran A., Cholewa M., Koś K., Koniarz T., 2015. Uwarunkowania techniczne rewitalizacji zbiornika wodnego Chechło w gminie Trzebiń. Monografia, Wydawnictwo UR w Krakowie.

CONTAMINATION OF NOWA HUTA LAKE BOTTOM SEDIMENTS WITH HEAVY METALS

Paweł Mundala¹, Artur Szwałec¹, Zbigniew Siejka², Renata Kędzior¹, Krzysztof Lipka³

¹Department of Ecology, Climatology and Air Protection, Faculty of Environmental Engineering and Geodesy, Agricultural University of Krakow, av. Mickiewicza 24/28, 30-059 Krakow

²Department of Geodesy, Agricultural University of Krakow, Balicka 253a, 30-149 Krakow

³Department of Land Reclamation and Environmental Development, Agricultural University of Krakow av. Mickiewicza 24/28, 30-059 Krakow

Abstract. The aim of the study was to assess the pollution of Nowa Huta Lake bottom sediments with Cd, Pb, Zn, Cu, Cr and Ni. The lake is located close to a large steelworks and has been influenced by heavy metals emission for over sixty years. Eight research areas were selected on the lake. A self-created square grid was applied to create the base for sampling, then samples of bottom sediments were taken. The content of all metals tested exceeded the Polish surface water geochemical sediment background. In contrast, among the analysed elements, only the average concentration of cadmium did not exceed the value of the surface water geochemical sediment of the Silesia-Krakow region. According to the classification of the Polish Geological Institute examined sediments should be regarded as medium contaminated with zinc and moderately polluted with cadmium and zinc and nickel. On the basis of potential loads of zinc and chromium, the idea of agricultural use of the sediment for soil amendment must be rejected. The utilisation of the sediments in reconstructing city green areas, in reclamation of landfills and also in forestry should be considered.

Key words: bottom sediments, Nowa Huta Lake, heavy metals