

Marian Błażejowski

## Usuwanie ołowiu, kadmu i niklu w procesie sztucznej infiltracji wody z płytko zalewanych terenów porośniętych roślinnością łąkową

Zjawiskiem szczególnie niekorzystnym dla sztucznej infiltracji, jako procesu uzdatniania wody, jest występowanie w niej metali ciężkich. Podczas infiltracji brzegowej, jak również podczas infiltracji basenowej, sorbuja się one w osadach oraz w gruncie. W przypadku intensywnej biodegradacji zawartych w wodzie związków organicznych i obniżeniu pH mogą one jednak ulegać wymywaniu, przyczyniając się do wtórnego zanieczyszczenia wody infiltracyjnej [1–3]. Proces ten można w znacznym stopniu ograniczyć wykorzystując hydrofilową roślinność naczyniową. Oczyszczanie wody na płytko zalewanych terenach zasiedlonych roślinami zachodzi w efekcie procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych. Część metali adsorbowanych na zawieszonych usuwana jest w wyniku sedymentacji, a zanurzone części roślin oraz ich martwe szczątki spełniają rolę wielopoziomowych osadników intensyfikujących proces sedymentacji [4]. Ponadto, liście roślin zmniejszają efekt zagęszczenia gruntu przez infiltrującą wodę, a system korzeniowy zwiększa jego przepuszczalność, zmniejszając tym samym tempo kolmatacji [5]. Rośliny, oprócz substancji biogenych, pobierają również z wody lub roztworu glebowego metale ciężkie, które następnie kumulują się w ich tkankach nadziemnych oraz korzeniach. Dzięki tym procesom znaczna część metali ciężkich zostaje unieruchomiona w osadach oraz powierzchniowej warstwie gruntu, wzbogaconej w zhumifikowane resztki roślin [4] zwiększające jego pojemność sorpcyjną. W niniejszej pracy dokonano ilościowej oceny tych zjawisk na podstawie badań wpływu roślin hydrofilnych na usuwanie ołowiu, kadmu i niklu z wody infiltracyjnej.

### Metodyka badań

#### Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na modelach fizycznych, którymi były wazony z rur betonowych o średnicy 100 cm i wysokości 200 cm. Na dnie każdego wazonu umieszczono dren, który przykryto 20 cm warstwą żwiru i grubego piasku. Na przygotowanym w ten sposób podkładzie umieszczono w pierwszym wazonie 130 cm warstwę piasku o granulacji od 0,3 do 0,6 mm i 30 cm warstwę zbielicowanej gleby. Wypełnienie drugiego wazonu stanowiła również 130 cm warstwa takiego samego piasku, ale warstwa gleby miała miąższość 25 cm, bowiem na jej powierzchni ułożono darnie roślinności łąkowej z okresowo zalewanego tarasu Warty w Poznaniu.

Modele zalewano 5+7-krotnie tygodniowo 10 cm warstwą wody, w okresie od rozpoczęcia wegetacji roślin do pierwszych mrozów. W celu wytworzenia strefy saturacji odpływ wody z drenów odbywał się przez przelewy usytuowane 50 cm ponad dnem wazonów.

#### Przygotowanie wody do badań

Wodę do badań przygotowano korzystając z pozbawionej chloru wody wodociągowej, którą napełniono metalowy zbiornik zaopatrzonej w mieszało mechaniczne. Modelując zanieczyszczenie dodawano do niej pepton, chude mleko, dekstrynę, fosforan sodu, siarczan amonu oraz roztwory soli ołowiu, kadmu i niklu. Mętność wody modelowano zawiesinami iłu, a barwę ekstraktem z torfu. Wskaźniki jakości wody poddawanej infiltracji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średni skład wody poddawanej infiltracji

Parametr, jednostka	Wartość
Mętność, g/m <sup>3</sup>	20
Barwa, gPt/m <sup>3</sup>	30
ChZT, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	25
BZT <sub>5</sub> , gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	>5
Fosforany, gPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /m <sup>3</sup>	0,2
Azot amonowy, gN/m <sup>3</sup>	0,2
Ołów, gPb/m <sup>3</sup>	0,2
Kadm, gCd/m <sup>3</sup>	0,1
Nikiel, gNi/m <sup>3</sup>	0,1

#### Pobór próbek

Próbki wody do analizy pobierano raz w miesiącu ze zbiornika oraz z przelewów po upływie około 3 godzin od zalania modeli. Osad pobrano na zakończenie badań, bezpośrednio po zaprzestaniu zalewania. Analizy wody wykonywano zgodnie z Polskimi Normami. Zawartości metali ciężkich w osadach oraz w popiele spalonych roślin oznaczono po ich ekstrakcji na gorąco roztworem około 20% HCl, traktując dalej roztwory analogicznie jak próbki wody.

Stopień pokrycia powierzchni modelu przez rośliny określono metodą szacunkową, jako procent powierzchni doświadczalnej zajmowanej przez poszczególne gatunki. Identyfikację gatunków przeprowadzono korzystając z klucza roślin [6]. Rośliny w miarę wyrastania koszone do wysokości około 10 cm powyżej powierzchni gruntu, a pokosy suszono i ważono oraz na zakończenie spalano. Po ścięciu części zielonych roślin usuwano pojedyncze rośliny, wraz z korzeniami, do oznaczeń zawartości metali ciężkich w korzeniach.

## Wyniki badań

W okresie trzech lat modele zalewano przez 630 dób, czyli do badań każdego złoza zużyto około 41 m<sup>3</sup> wody. W miarę wydłużania czasu eksploatacji obserwowano stopniową kolmatację powierzchni gruntu, objawiającą się przedłużeniem czasu wsiąkania 10 cm warstwy wody. W przypadku modelu z roślinami czas ten wydłużył się z 3,0 do 3,5 h, a w przypadku modelu bez roślin z 4,0 do 4,5 h. Próbkę wody do analiz pobierano w 17 seriach. W celu oceny istotności różnic jej jakości posłużono się programem Statistika, przeprowadzając porównania średnich wartości badanych wskaźników w grupach odpowiadających wodzie surowej oraz wodzie infiltrowanej przez model z roślinami i bez nich.

## Badania wody

Wyniki badań wskazują na istotne obniżenie zawartości substancji organicznych w wodzie infiltracyjnej w stosunku do wody surowej (tab.2). Dla ChZT efekt ten w pierwszym cyklu wynosił 47%, a w drugim osiągnął 57%. Jeszcze większym zmianom ulegało BZT<sub>5</sub>, którego średnie wartości dla wody po infiltracji były niższe od oznaczonych w wodzie surowej o 65% w pierwszym cyklu i o 85% w drugim. Poprawa efektu oczyszczania wody w drugim cyklu miała prawdopodobnie związek ze zwiększoną zawartością substancji organicznych wprowadzonych do wody surowej oraz intensywniejszą ich biodegradacją. W obu cyklach wartości ChZT i BZT<sub>5</sub> wody infiltracyjnej nie różniły się od siebie w sposób istotny. Brak różnic pomiędzy wskaźnikami wody infiltracyjnej po obu modelach wskazywał natomiast na brak bezpośredniego wpływu roślin na efektywność usuwania z wody substancji organicznych.

Tabela 2. Średnie stężenia związków organicznych i metali ciężkich w wodzie

Wskaźnik jednostka	Cykl	Przed infiltracją	Po infiltracji	
			bez roślin	z roślinami
ChZT, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1	121,4	11,2	11,7
	2	26,6	11,1	11,6
BZT <sub>5</sub> , gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1	3,5	1,1	1,3
	2	25,8	0,9	1,0
Ołów, gPb/m <sup>3</sup>	1	0,215	0,020	0,019
	2	0,194	0,037	0,040
Kadm, gCd/m <sup>3</sup>	1	0,101	0,005	0,004
	2	0,093	0,002	0,002
Nikiel, gNi/m <sup>3</sup>	1	0,016	0,011	0,010
	2	0,101	0,006	0,006

○ brak statystycznej istotności różnic  
 > zbiór istotnie mniejszy < zbiór istotnie większy

Skuteczność usuwania kadmu i niklu z wody podczas infiltracji wynosiła od 91 do 98%, przy czym efekt ten był niezależny od intensywności biodegradacji, o czym świadczył brak różnic pomiędzy ich średnimi stężeniami w wodzie infiltracyjnej w pierwszym i drugim cyklu badań (tab.2). W przypadku ołowiu, w pierwszym cyklu efektywność eliminacji przekraczała również 90%. Jednak w drugim cyklu, z chwilą zwiększenia zawartości substancji organicznych w wodzie surowej i zwiększeniu intensywności biodegradacji, efektywność usuwania uległa obniżeniu do około 80%, zarówno w modelu z roślinami jak i bez nich. Brak różnic w stężeniach badanych metali ciężkich w wodzie infiltracyjnej po obu modelach pozwalał sądzić, że rośliny nie miały wpływu na efektywność ich usuwania.

## Badania osadów

Wyniki analiz próbek osadów wskazują, że w osadach kumulował się głównie ołów, natomiast stężenia niklu, a szczególnie kadmu, były kilkakrotnie niższe (tab.3). Mimo iż stężenia badanych metali w osadach z obu modeli były zbliżone, to ich masy okazały się różne. Było to wynikiem różnej miąższości osadów, która w modelu bez roślin wynosiła około 3 mm, a w modelu z roślinami 10 mm. Osady wizualnie różniły się także składem. Osad z modelu bez roślin sprawiał wrażenie mineralnego, podczas gdy osad z modelu z roślinami zawierał resztki roślinne. Część z nich uległa już humifikacji, co niewątpliwie zwiększyło jego zdolności sorpcyjne w stosunku do zawartych w wodzie kationów, w efekcie czego masa metali zawarta w osadzie z roślinami była wyższa od masy metali w osadzie bez roślin, dla ołowiu około 2,8-krotnie, dla kadmu 2,4-krotnie i dla niklu 4,3-krotnie.

Tabela 3. Zawartości metali ciężkich w osadach odłożonych na powierzchni modeli

Zawartość metalu		Bez roślin	Z roślinami
Stężenie, mg/100gsm	Pb	28	32
	Cd	3,3	3,3
	Ni	4,1	7,3
Masa, mg	Pb	1344	3744
	Cd	158	386
	Ni	197	854

## Badania roślin

Analiza fitosocjologiczna roślin wykazała, że w trakcie badań następowały stopniowe zmiany ich gatunków. Początkowo 80% powierzchni zajmowała Turzycza lisa. W drugim roku badań zaczęła ustępować (10%), a jej miejsce zajęły Wyczniec łąkowy (20%) i Wiechlina zwyczajna (15%). Pojawił się także Jaskier rozłogowy (15%), który w trzecim roku badań zajmował już 70% powierzchni modelu.

Rośliny tworzące darnie, którymi pokryto powierzchnię modelu, już na wstępie zawierały w korzeniach ołów, natomiast obecności niklu i kadmu nie stwierdzono (tab.4). Zalewanie modeli wodą zawierającą badane metale przyczyniło się do wzrostu ich stężeń w roślinach. Najwyższe stężenia metali oznaczono jesienią, przy czym w korzeniach były one wyższe niż w częściach zielonych. W przypadku części zielonych roślin mogło to być związane ze stopniowym ich zasychaniem i pozornym zagęszczaniem roztworów metali w suchych tkankach, natomiast w przypadku korzeni był to efekt kumulacji zachodzącej przez cały okres wegetacyjny. Wiosną większość starych korzeni obumierała, tworząc frakcję humusową, a młode rozrastające się korzenie zawierały względnie

Tabela 4. Zawartości metali ciężkich w roślinach (mg/100gsm)

Czas, miesiące (pora roku)	Ołów		Kadm		Nikiel	
	z	k	z	k	z	k
0 (wiosna)	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10 (wiosna)	0,9	2,6	0,6	1,8	0,8	1,0
18 (jesień)	13,0	17,4	2,9	57,0	1,8	3,6
26 (lato)	2,8	13,2	0,2	32,0	0,4	9,4
30 (jesień)	6,3	55,0	0,2	12,0	1,0	13,2
Łączna masa w częściach zielonych, mg	162	–	60	–	48	–

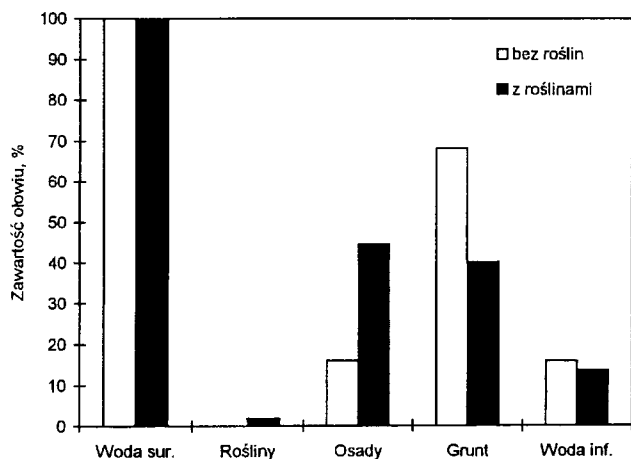
z – części zielone, k – korzenie

mniej badanych metali. Najintensywniej przez rośliny pobierany był ołów, występujący w wysokich stężeniach zarówno w częściach zielonych, jak również w korzeniach. Pozostałe metale kumulowały się w większym stopniu w korzeniach. Sumaryczna masa metali skumulowana w masie zielonej ściętej w okresie trzech lat okazała się bardzo mała, natomiast metale zawarte w obumarłych korzeniach przyczyniały się do stopniowej ich kumulacji w humusowej frakcji powierzchniowej warstwy gruntu. Uwzględniając zjawisko wiązania metali ciężkich przez związki humusowe [7] można uznać, że pojemność sorpcyjna powierzchniowej warstwy gruntu, szczególnie dla ołowiu, stopniowo wzrastała.

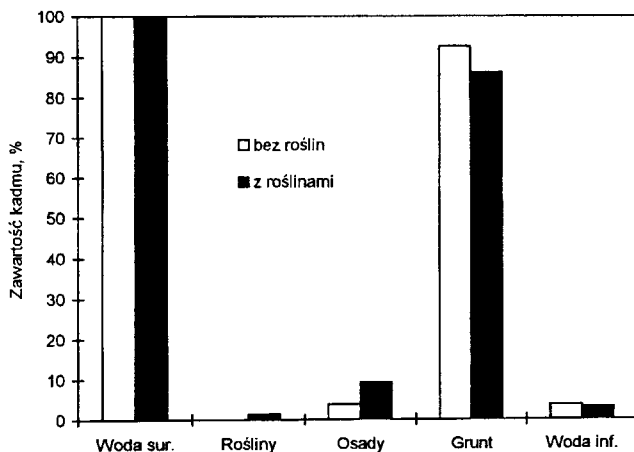
Po zbilansowaniu zawartości metali ciężkich w wodzie przed i po infiltracji określono udział części zielonych roślin, osadów oraz gruntu w ich usuwaniu (tab.5). Skuteczność usuwania metali przez rośliny, osady i grunt przedstawiono na rysunkach 1+3.

Tabela 5. Sumaryczna masa metali ciężkich w wodzie (mg)

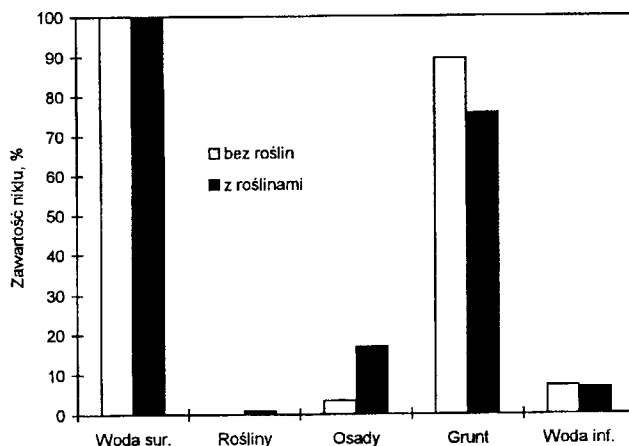
Metal	Przed infiltracją	Po infiltracji	
		bez roślin	z roślinami
Ołów	8425	1340	1141
Kadm	4128	153	129
Nikiel	5095	363	339



Rys. 1. Rozkład usuwania ołowiu pomiędzy rośliny, osady i grunt



Rys. 2. Rozkład usuwania kadmu pomiędzy rośliny, osady i grunt



Rys. 3. Rozkład usuwania niklu pomiędzy rośliny, osady i grunt

Podczas infiltracji wody przez model z roślinami ponad 53% usuniętego ołowiu kumulowało się w osadach i częściach zielonych roślin, natomiast w modelu bez roślin ołów został zatrzymany głównie w warstwie gruntu. W przypadku niklu wpływ roślin można także uznać za istotny, bowiem prawie 20% zostało zatrzymane w osadzie i częściach zielonych roślin. Dla kadmu efekt ten okazał się najmniejszy i wyniósł tylko 11%. Wynika stąd, że masa badanych metali, usuwana wraz z częściami zielonymi roślin, była bardzo mała. Odkładające się jednak w osadach resztki roślin istotnie wpływały na zatrzymywanie szczególnie ołowiu oraz w mniejszym stopniu niklu i kadmu. Należy podkreślić, że duże ilości tych metali zostały niewątpliwie dodatkowo skumulowane w korzeniach roślin.

## Podsumowanie

Infiltracja wody o wartościach ChZT i BZT<sub>5</sub> zbliżonych do I klasy czystości, zawierającej dodatkowo związki ołowiu, kadmu i niklu w stężeniach odpowiednio 0,2, 0,1 i 0,1 g/m<sup>3</sup>, przez modele basenów infiltracyjnych zawierających rośliny oraz bez nich, zapewniła jej uzdatnienie do jakości odpowiadającej wodzie do picia. Stystycznie równe stężenia metali w wodzie infiltracyjnej z obu modeli wskazywały na brak wpływu roślin na efektywność ich usuwania. Masa metali skumulowanych w częściach zielonych roślin była bardzo mała i nie przekraczała 2%. Istotnie różniła się jednak masa metali skumulowanych w osadach odłożonych na powierzchni modeli. W modelu z roślinami osad zawierał 51% ołowiu, 18% niklu i 10% kadmu, z ogólnej masy tych metali, podczas gdy dla modelu bez roślin wartości te wynosiły odpowiednio 19, 4 i 4%. W modelu z roślinami dodatkowa ilość metali ciężkich została odłożona w martwych korzeniach roślin.

Osady zawierające zhumifikowane resztki roślin oraz martwe korzenie, zwiększające zawartość substancji humusowych w gruncie, przyczyniły się do wzrostu pojemności sorpcyjnej badanego modelu. Wynika stąd, że infiltracja wody zawierającej związki ołowiu, kadmu i niklu przez warstwę gruntu o niewielkiej miąższości, ale z pokryciem roślin łąkowych znoszących okresowe zalewania, może zapewnić skuteczne ich usuwanie przez znacznie dłuższy czas, w porównaniu do obiektów bez szaty roślinnej. Dodatkowym efektem obecności roślin będzie utrzymujący się przez cały czas wyższy wskaźnik infiltracji.

## LITERATURA

1. M. BŁAŻEJEWSKI: Sztuczna infiltracja w uzdatnianiu wód powierzchniowych. Wyd. Instytutu Kształtowania Środowiska, Warszawa 1982.
2. M. BŁAŻEJEWSKI: Perspektywy wykorzystania sztucznej infiltracji w uzdatnianiu zanieczyszczonych wód powierzchniowych w Polsce w świetle dotychczasowych doświadczeń. *Ochrona Środowiska*, 1983, nr 2(15), ss. 7–13.
3. M. BŁAŻEJEWSKI: Problemy jakości wody na ujęciach gdzie infiltracja zachodzi przez warstwę gruntu o niewielkiej miąższości. Mat. symp. „Badania hydrogeologiczne ujęć infiltracyjnych”. Przedsiębiorstwo Geologiczne, SITG, Warszawa 1987.
4. M. BŁAŻEJEWSKI: Eksploatacja stawów infiltracyjnych zasilanych silnie zanieczyszczoną wodą powierzchniową. *Ochrona Środowiska*, 1985, nr 2–3(24–25), ss. 43–46.
5. *Process Design: Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater*. EPA, 1977.
6. W. SZAFER i in.: *Rośliny polskie*. PWN, Warszawa 1967.
7. M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: Interakcja związków humusowych z wybranyimi metalami ciężkimi oraz jej wpływ na usuwanie wybranych metali z wody. Wyd. PWr., Wrocław 1985.

### Removal of Pb, Cd and Ni by Infiltration through a Low-Flooded Area with Meadow Plants

*The presence of heavy metals is particularly troublesome when water treatment involves infiltration. For small objects, specifically when the water to be treated contains heavy metals, infiltration through a low-flooded area with hydrophilic meadow plants is a promising alternative. Two physical models were used to assess the efficiency of Pb, Cd and Ni removal. Infiltration was carried out with tap water treated with peptone, dextrin, humus extract, clay suspension and relevant heavy-metal salts. The models were flooded with a 10-cm water layer five to seven times a week. Model investigations were carried out for three years in the vegetation seasons. Both models provided removal*

*efficiencies of 80–90%, 91% and 98% for lead, cadmium and nickel, respectively, which means a decrease to the levels admissible for drinking water. The grassy model was found to adsorb higher quantities of heavy metals than the non-grassy model. This indicates that infiltration of water containing Pb, Cd and Ni through a low-flooded thin soil layer grown with meadow plants provides effective heavy metal removal for a markedly longer period than does a soil layer with no vegetation. Another advantage of meadow-plant growth is a higher infiltration factor.*