

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

Wpływ procesu uzdatniania wody i filtracji na złożu antracytowym na stężenie jonów kadmu i ołowiu w wodzie

Influence of water purification and filtration process on anthracite filter layer on cadmium and lead ions concentrations in water samples

Katarzyna Gadowska, Anita Pasko, Klaudia Skawińska, Radosław Porada

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

ABSTRAKT: Celem pracy było zbadanie zawartości kadmu i ołowiu, przy użyciu anodowej voltamperometrii strippingowej, w próbkach wody surowej, pobranych ze Zbiornika Dobczyckiego oraz w wodzie po zakończonym procesie uzdatniania. Kolejno starano się oszacować wydajność procesu filtrowania za pomocą antracytu oraz jego wpływ na stężenie Pb^{2+} i Cd^{2+} w wodzie. Uzyskane wyniki nie przekraczały wartości $1 \mu\text{g/L}$, zatem mieszczą się w granicach wyznaczonych przez normę. Stwierdzono również, że filtracja na złożu antracytowym przyczynia się do wzrostu stężenia jonów oznaczanych metali ciężkich.

ABSTRACT: This research aims at examining the cadmium and lead ions concentrations, with the use of differential pulse anodic stripping voltammetry, in the raw water samples from the Dobczyce Reservoir and the water samples after completion of the water purification process. Furthermore, this paper attempts to assess efficiency of the filtration method involving use of anthracite and its influence on the Pb^{2+} and Cd^{2+} content in water. The determined concentrations were below $1 \mu\text{g/L}$ and are therefore in compliance with national regulations. The results indicated also that the filtration process on anthracite filter layer leads to increase of the of the examined heavy metals' ions concentrations.

Słowa kluczowe: antracyt, proces uzdatniania wody, kadm, ołów

1. Wstęp

1.1. Proces uzdatniania wody

Zakład Uzdatniania Wody w Dobczycach położony 30 km od Krakowa nad rzeką Rabą, dostarcza wodę pitną do dużej części mieszkańców Krakowa, a także Dobczyc, Myślenic, Świątnik Górnych, Sieprawia i Wieliczki, czyli łącznie do około 350 tysięcy odbiorców. Zakład dysponuje dwoma ciągami technologicznymi Raba I i Raba II, które pozwalają na przeprowadzanie remontów na jednym z ciągów lub stanowią zabezpieczenie w przypadku awarii jednego z nich.

Proces uzdatniania wody polega na zmianie jej właściwości fizykochemicznych i biologicznych na takie, które nie stanowią zagrożenia dla zdrowia jej odbiorców. W trakcie tego procesu z wody usuwane są mikroorganizmy, pasożyty oraz szkodliwe związki chemiczne i metale ciężkie. Dodatkowo kolejne etapy oczyszczania powodują poprawę smaku, zapachu oraz barwy wody.

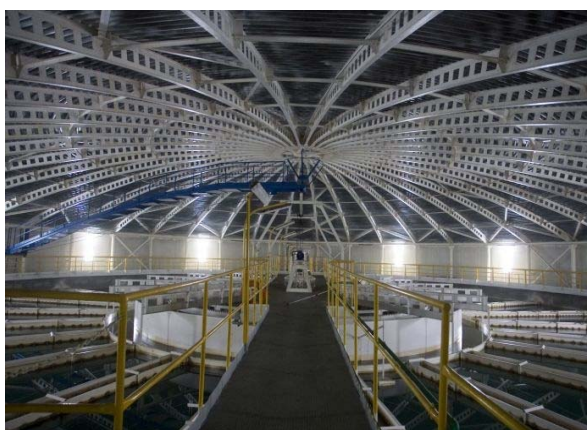
Woda ze Zbiornika Dobczyckiego może być pobierana na głębokościach 3, 6 lub 9 m. Decyzje o tym, na którym poziomie pompy powinny pracować podejmowane są na podstawie aktualnego stanu czystości wody w zbiorniku. Zakład posiada 6 pomp o wydajności 3 i 4 tys. m^3/h . Na rysunku 1 znajduje się zdjęcie ujęcia wody.

Po pobraniu wody przez pompy, przechodzi ona przez system krat i sit, które wstępnie zatrzymują największe zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie.



Rys.1 Ujęcie wody [1].

Woda jest uzdatniana w kilku etapach. W pierwszym etapie poddawana jest ozonowaniu. Ozon wytwarzany jest w dwóch generatorach o wydajności 7,5 kg ozonu/h. Kolejnym etapem oczyszczania jest koagulacja zachodząca w akcelatorze, przedstawionym na rysunku 2. W trakcie koagulacji tworzą się agregaty głównie cząstek organicznych. Jako koagulant wykorzystywany jest PAX 18, czyli płynny polichlorek glinu. Woda po tym procesie jest poddawana sedymentacji, w której skoagulowane cząstki opadają na dno. Następnym krokiem w uzdatnianiu wody jest zastosowanie filtracji. Wykorzystuje się w nim warstwę piasku o wysokości 1,5 m, na której ułożona jest warstwa antracytu o wysokości 0,4 m. Powierzchnia wymiany wynosi ok. 1,5 tys. m².



Rys.2 Akcelator – miejsce zachodzenia koagulacji [1].

Antracyt jest odmianą alotropową węgla. Jest stosowany jako górna warstwa złoża służącego do filtrowania wody, ponieważ dochodzi na nim do adsorpcji zanieczyszczeń. Odpowiednia granulacja i gęstość antracytu znacznie zwiększają wydajność procesu uzdatniania. Dodatkowo nie jest on szkodliwy dla zdrowia. Antracyt charakteryzuje się wysoką odpornością na ścieranie, zachowuje swoje właściwości w szerokim zakresie pH, jest odporny na duże prędkości płukania, nie zbryla się, ma dużą gęstość oraz nie powoduje uwalniania do wody kwasu krzemowego [2].

Pozostały po filtracji osad jest wypompowywany i wywożony na glebę. Po 20 minutach filtrowania woda staje się przezroczysta i przechodzi do kolejnego etapu, czyli dezynfekcji za pomocą lamp UV, która ma na celu usunięcie drobnoustrojów. Zastosowanie lamp UV pozwoliło na wyeliminowanie procesu chlorowania, co znacznie poprawia smak i zapach wody. Oprócz promieniowania UV stosuje się również podchloryn sodu, wytwarzany z chłorku sodu przez elektrolizery.

Woda, po przejściu przez wszystkie etapy uzdatniania tłoczona jest do zbiorników w Gorzkowie, skąd grawitacyjnie spływa do zbiorników w Sierczy. Kolejno woda transportowana jest do obszarów

Krakowa, takich jak Podgórze, Śródmieście i Nowa Huta. Spadek wody pod wpływem siły ciężkości pozwala na wyprodukowanie pewnej ilości energii elektrycznej, dlatego zakład zainwestował w turbinę generującą prąd.

1.2. Metale ciężkie w wodzie - ołów i kadm

Szacuje się, że codziennie każdy Polak zużywa od 100 do 150 litrów wody. W związku z tym bardzo ważna jest jakość wody, która zostaje dopuszczona do eksploatacji. Metale ciężkie, takie jak ołów i kadm są niebezpieczne dla zdrowia człowieka. Pierwiastki te nie ulegają rozkładowi, a organizm ludzki nie potrafi ich w całości wydaląć, co powoduje ich akumulację w tkankach. Oba metale są przyczyną wielu poważnych schorzeń, które mogą prowadzić nawet do śmierci.

Ołów jest powszechnie stosowany w wielu gałęziach przemysłu. Do organizmów żywych może dostawać się przez skórę, drogi oddechowe lub układ pokarmowy. Do wód powierzchniowych trafia w wyniku korozji rur ołowianych lub ze zbiorników pokrytych farbami zawierającymi związki tego pierwiastka. Ponadto źródłem ołowiu w pobliżu okręgów przemysłowych są opady atmosferyczne. Metal ten powoli odkłada się w narządach, z czasem prowadząc do tzw. ołowicy. Objawów tej choroby jest wiele, zaczynając od osłabienia, bólów głowy i bezsenności, po zaburzenia wzroku, czy poważne uszkodzenia wątroby i nerek [3,4].

Kadm przedostaje się do środowiska wraz ze ściekami, poprzez stosowanie nawozów sztucznych, zaś do wody na drodze kontaktu z ocynkowanymi rurami lub metalowymi elementami uzbrojenia przewodów. Do naszych organizmów kadm trafia przez układ pokarmowy, w wyniku spożycia zatrutej wody lub roślin. Jednak przede wszystkim wchłania się wraz z powietrzem, zanieczyszczonym dymem papierosowym. Powoduje wypłukiwanie się wapnia z kości, co prowadzi do ich znacznego osłabienia. Jest przyczyną chorób układu krążenia, takich jak niedokrwistość oraz nadciśnienie tętnicze [3,4].

Podane wyżej przykłady to tylko część negatywnego wpływu ołowiu i kadmu na organizm człowieka. W czasach szybkiego rozwoju przemysłu i infrastruktury, jesteśmy nieustannie narażeni na kontakt z tymi metalami ciężkimi. W związku z tym, istotną rolę odgrywa kontrolowanie ich zawartości m.in. w wodzie. W Polsce zawartość tych pierwiastków w wodzie powierzchniowej przeznaczonej do spożycia reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.11.2002 r. Na jego podstawie maksymalne dopuszczalne stężenie jonów ołowiu to 0,01 mg/l, natomiast kadmu 0,005 mg/l [5].

1.3 Metoda analityczna

Przedmiotem badań było oznaczenie próbek wody, pobranych na terenie Zakładu Uzdatniania Wody w Dobczycach. Oznaczenie wykonano za pomocą woltamperometrii strippingowej techniką impulsową różnicową.

Woltamperometria jest elektrochemiczną metodą wykorzystującą pomiar prądu w trakcie przebiegającej reakcji chemicznej, wymuszanej określonymi, charakterystycznymi dla danej techniki, zmianami potencjału elektrody. Oznaczenie najczęściej wykonuje się w układzie trójelektrodowym, składającym się z elektrody pracującej, odniesienia i pomocniczej [6].

1.3.1 Woltamperometria inwersyjna

Jedną z metod woltamperometrycznych stosowanych w analizie środowiskowej jest woltamperometria inwersyjna. Charakteryzuje się ona bardzo wysoką czułością, w stosunku do niewielkiej ceny wykonania pomiaru. Stosuje się ją do oznaczeń kationów i anionów w zakresie niskich stężeń (10^{-10} – 10^{-11} mol/l), dlatego metodę tę zastosowano do wykonania oznaczeń zaprezentowanych w artykule.

Woltamperometria inwersyjna jest metodą dwuetapową. W pierwszym etapie analit wydziela się na elektrodzie (lub w jej objętości), natomiast w drugim etapie następuje rozpuszczenie wydzielonej substancji i zmiana kierunku potencjału elektrody, czyli tzw. inwersja. W etapie tym rejestrowany jest woltamogram w postaci pików.

Woltamperometria inwersyjna może dotyczyć procesu katodowego (CSV), ale znacznie częściej ma miejsce rozpuszczanie na anodzie (ASV). W procesie woltamperometrii inwersyjnej substancje analizowane są za pomocą różnych technik woltamperometrycznych takich jak np.: woltamperometria z liniowo zmieniającym się potencjałem (LSV), czy woltamperometria impulsowa różnicowa (DP) [6-8].

1.3.2 Woltamperometria impulsowa – różnicowa

W technice impulsowo różnicowej na zmieniające się napięcie nałożone są impulsy, o stałej wysokości. Rejestrowana jest różnica wielkości prądu przed i po impulsie. Technika impulsowa różnicowa w połączeniu w woltamperometrią inwersyjną, pozwala na osiągnięcie najniższej granicy oznaczalności pierwiastków w badanej próbce [6-8].

2. Część doświadczalna

2.1. Opis próbek

W tabeli 1 zawarto opis pobieranych próbek z wyszczególnieniem miejsca, daty i godziny ich pobrania oraz sposobu przechowywania. Próbki przechowywano przez okres 1 tygodnia w lodówce w temp. 4°C.

Tabela 1. Pobrane próbki.

Lp	Próbka	Osoba pobierająca	Miejsce pobrania	Data i godzina pobrania	Sposób przechowywania
1.	woda surowa	inż. Katarzyna Gadowska	Zakład Uzdatniania Wody Raba w Dobczycach - ujęcie wieżowe	10.10.2017 r. godz. 10.30	pojemnik z polipropylenu o pojemności 50 mL ze szczelnym zamknięciem
2.	woda wyjściowa uzdatniona	inż. Katarzyna Gadowska	Zakład Uzdatniania Wody Raba w Dobczycach	10.10.2017 r. godz. 12.00	pojemnik z polipropylenu o pojemności 50 mL ze szczelnym zamknięciem
3.	antracyt	inż. Katarzyna Gadowska	Zakład Uzdatniania Wody Raba w Dobczycach	10.10.2017 r. godz. 11.30	pojemnik z polipropylenu o pojemności 50 mL ze szczelnym zamknięciem

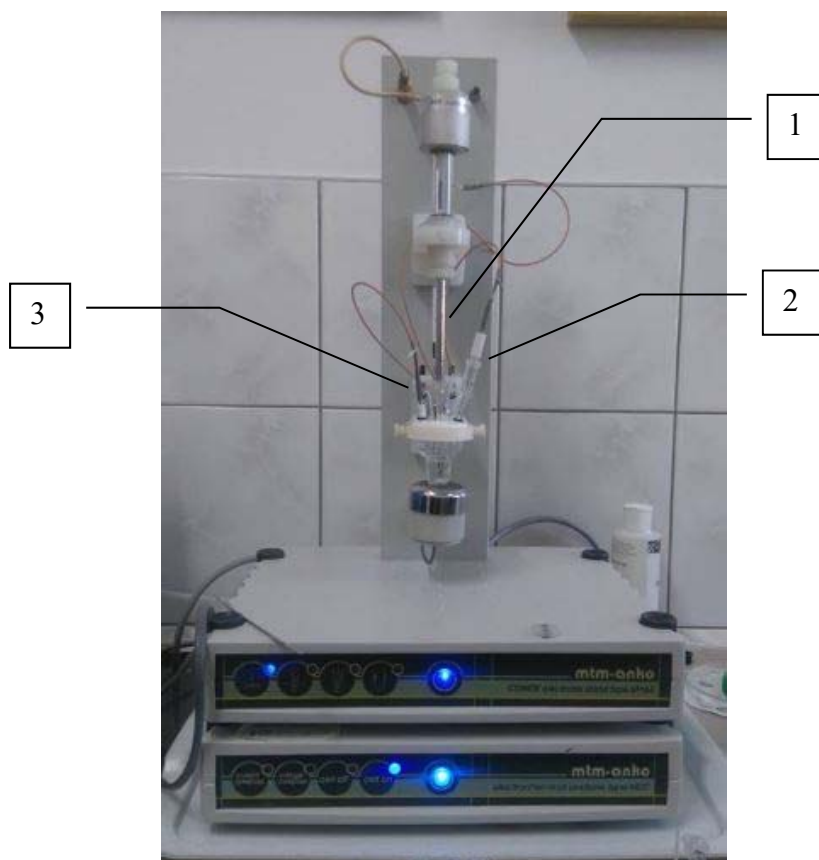
2.2 Sprzęt i aparatura

W trakcie wykonywania pomiarów korzystano z niżej wymienionej aparatury.

Elementy układu pomiarowego:

- statyw elektrodowy typu M164 firmy mtm-anko, Kraków, Polska;
- analizator elektrochemiczny typu M161;

- mieszadło magnetyczne;
- naczynko pomiarowe ze szkła PYREX z pokrywą teflonową;
- pipety automatyczne.



Rys.3 Stosowana aparatura pomiarowa [fotografia własna, opis w tekście].

Układ trójelektrodowy:

- elektroda pracująca (1): CGMDE (elektroda rtęciowa o kontrolowanym przyroście powierzchni kropli);
- elektroda odniesienia (2): chlorosrebrowa $\text{Ag}|\text{AgCl}|3\text{M KCl}$ z podwójnym kluczem elektrolitycznym;
- elektroda pomocnicza (3): platynowa.

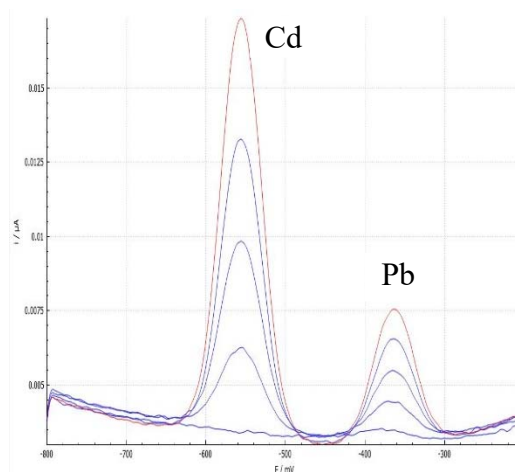
2.3 Odczynniki

W trakcie wykonywania oznaczeń użyto następujących odczynników:

- woda bidestylowana;
- stały KNO_3 czda, POCH;
- argon 99,999%;
- 7% kwas azotowy(V) przygotowany z 65% roztworu tego kwasu cz, POCH;
- 3M roztwór KNO_3 i 3M roztwór KCl do przygotowania chlorosrebrowej elektrody odniesienia z podwójnym płaszczem;
- roztwory wzorcowe metali Pb i Cd o stężeniu (1000 ± 2) [mg/L] Suprapur, POCH;
- 5% kwas octowy - do przemycia złoża, przygotowany z roztworu 99% cz, POCH.

2.4 Parametry oznaczenia

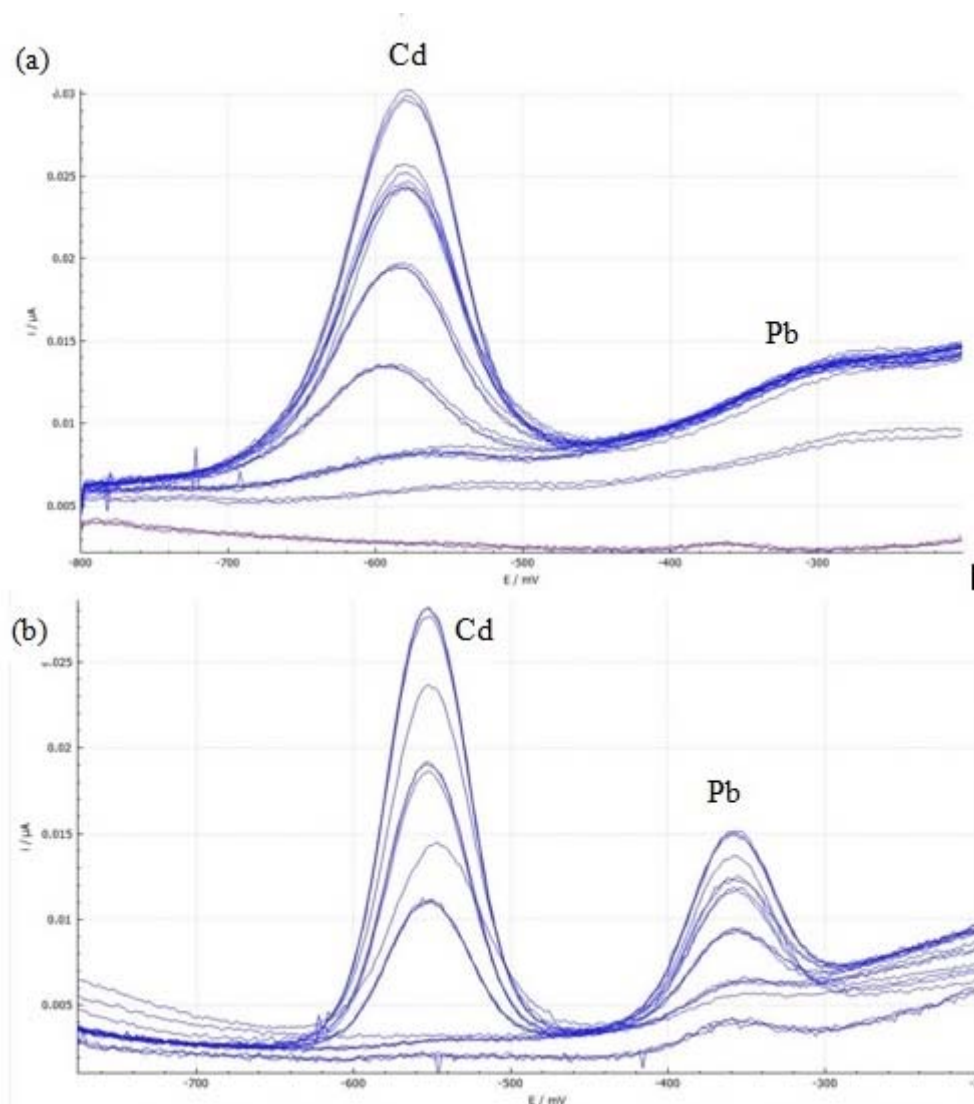
Oznaczenia woltamperometryczne wykonano techniką DP ASV. Zateżnienie metali ciężkich przeprowadzano przy potencjale $E_{zat} = -800$ mV oraz uruchomionym mieszadłem. Następnie rejestrowano woltamogram w zakresie potencjałów od -800 mV do -200 mV, stosując potencjał schodka $E_s = 2$ mV, amplitudę impulsu $\Delta E = 50$ mV oraz czas impulsu $t_{imp} = 20$ ms (10 ms czas wyczekiwania i 10 ms czas próbkowania). Próbkowanie prądu dokonywano dwukrotnie - przed i na impulsie. W badanym oknie potencjałów pik pochodzący od kadmu osiąga maksimum przy potencjale ok. -550 mV, zaś pik pochodzący od ołowiu przy potencjale ok. -370 mV.



Rys.4 Przykładowy woltamogram po optymalizacji zakresu pomiarowego oraz składu roztworu w naczynku.

Przed wykonaniem właściwych pomiarów dokonano optymalizacji następujących parametrów:

- 1) zakres prądowy - pierwsze pomiary przeprowadzono na zakresie 100 nA; ze względu na brak powtarzalności i liniowości, co najprawdopodobniej było spowodowane tym, że jedna z mierzonych składowych prądu przekraczała wartość maksymalną dla danego zakresu do dalszych pomiarów stosowano zakres 1 μ A (rys. 4);
- 2) stężenia wzorców - dodatek roztworów wzorcowych Cd i Pb o stężeniach 1 mg/L powodował kilkukrotnie większy przyrost prądu w porównaniu z sygnałem próbki, dlatego do pomiarów wybrano roztwór wzorcowy Cd o stężeniu 0,1 mg/L oraz roztwór wzorcowy Pb o stężeniu 0,5 mg/L;
- 3) czas zateżnienia - początkowo zateżnienie prowadzono przez 20 s, jednak ze względu na niski sygnał do dalszych pomiarów wybrano czas zateżnienia równy 1 min.
- 4) skład elektrolitu podstawowego - głównym składnikiem elektrolitu podstawowego był azotan(V) potasu, dodawany w niewielkiej ilości w postaci proszku. W przypadku analizy próbek rzeczywistych nie stwierdzono sygnału pochodzącego od ołowiu (sygnał ten nie pojawiał się również po dodatku wzorca), co najprawdopodobniej było spowodowane kompleksowaniem jonów ołowiu przez związki obecne w badanych próbkach (rys. 5a) [9]. Jako drugi składnik elektrolitu podstawowego zastosowano 7% roztwór kwasu azotowego(V), dodawany w ilości 1 μ L na 5 mL roztworu w naczyniu (rys. 5b), którego dodatek spowodował zakwaszenie roztworu w naczynku elektrolitycznym i pozwolił na zarejestrowanie sygnału pochodzącego od jonów ołowiu.



Rys.5 Optymalizacja składu elektrolitu podstawowego: (a) tylko KNO_3 , (b) $\text{KNO}_3 + \text{HNO}_3$.

2.5 Wykonanie

Do naczynka elektrolitycznego wiano przy pomocy pipety automatycznej po 2,5 mL wody destylowanej i elektrolitu podstawowego, uruchomiono przepływ argonu celem odtlenienia próbki i po trzech minutach rozpoczęto pomiar. Następnie zarejestrowano woltamogramy dla 4 kolejnych dodatków roztworów wzorcowych Cd i Pb (metoda dodatku wzorca). Objętość każdego dodatku wynosiła 1 μL . Z wyznaczonych krzywych kalibracyjnych obliczono stężenia metali ciężkich w używanej wodzie destylowanej.

W drugim etapie zarejestrowano woltamogram dla 4 mL wody destylowanej z elektrolitem podstawowym (tło), dodano 1 mL wody surowej (próbka nr 1) i wykonano pomiar. Następnie dodano 3 krotnie roztworów wzorcowych, dokonując rejestracji woltamogramu po każdym dodatku. Analogiczną procedurę zastosowano dla wody uzdatnionej (próbka nr 2).

W trzecim etapie w kolbie miarowej o objętości 5 mL przygotowano wodę celowo zanieczyszczoną badanymi metalami ciężkimi (w dalszej części artykułu określana mianem "wody sztucznej"), używając roztworów wzorcowych kadmu i ołowiu oraz wody bidestylowanej. Następnie pobrano 0,5 mL sporządzonego roztworu i wykonano oznaczenie stężenia jonów Cd i Pb według opisanej powyżej procedury (objętość użytej wody bidestylowanej wynosiła 4,5 mL). Pozostałą część "wody

sztucznej" przepuszczono przez złożę antracytu o masie 4,5488 g, a następnie oznaczono zawartość badanych metali ciężkich w przesączu.

Celem oznaczenia zawartości metali ciężkich w badanym złożu antracytu przemyto je ok. 5% roztworem kwasu octowego. Uzyskany przesącz poddano analizie.

Woltamogramy dla tła, po dodaniu próbki i wzorców były rejestrowane trzykrotnie i następnie uśredniane.

3. Wyniki pomiarów i dyskusja

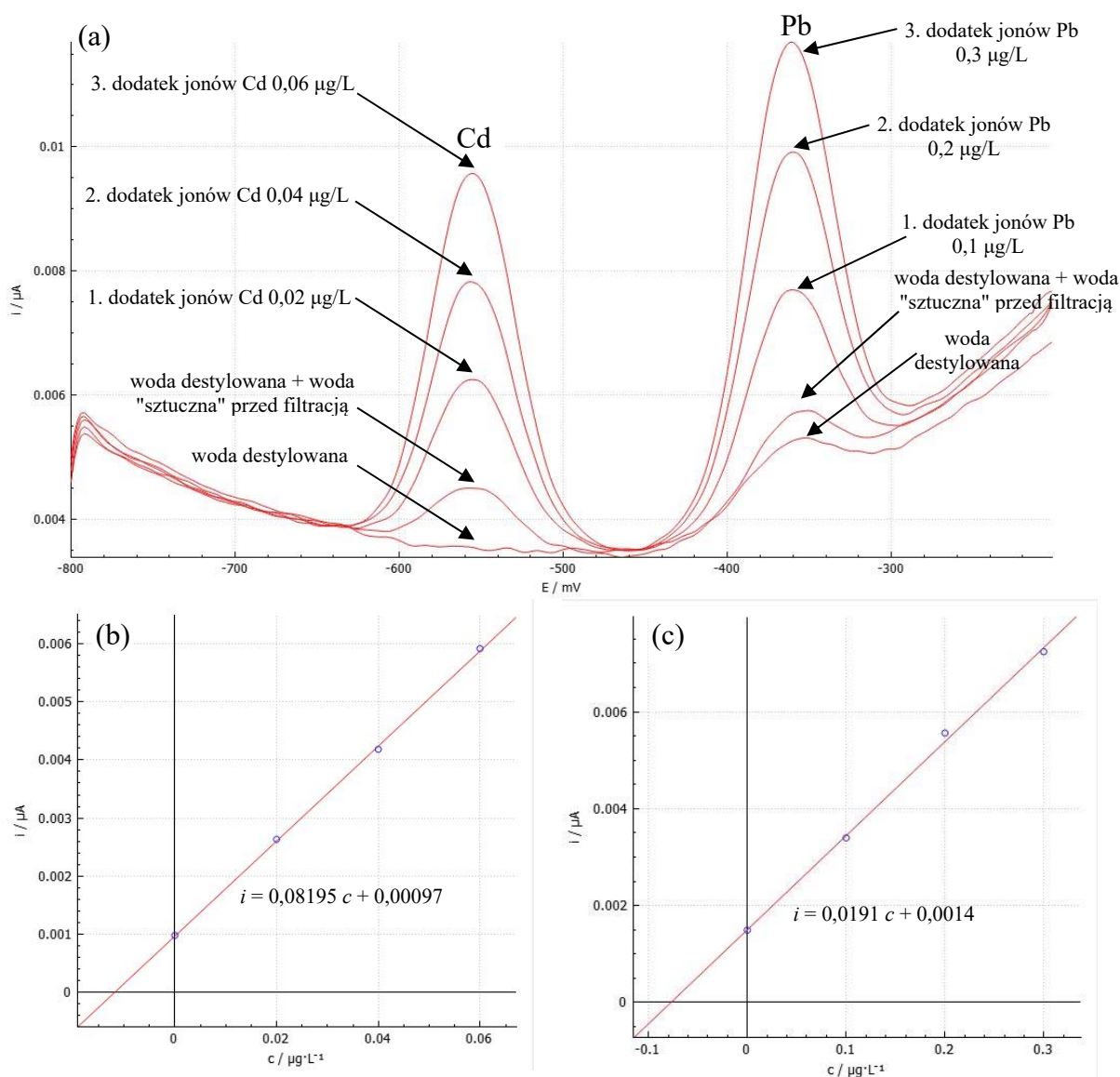
Opracowanie statystyczne wyników wykonano w oparciu o równania przedstawione w literaturze [10]. Dla wody destylowanej prąd w zakresie potencjałów formowania się piku pochodzącego od kadmu pokrywał się z tłem, zaś wykreślona dla metody dodatku wzorca krzywa kalibracyjna przechodziła przez zero. Oznacza to, że stężenie jonów kadmu w używanej wodzie destylowanej było poniżej granicy wykrywalności stosowanej metody (w wyniku oszacowania tej granicy według zaleceń IUPAC otrzymano wartość 0,003 µg/L). Do dalszych obliczeń przyjęto, że stężenie jonów kadmu w używanej wodzie destylowanej było równe zero i nie korygowano wyznaczonych stężeń kadmu w naczynku przy obliczaniu zawartości jonów tego metalu w badanych próbkach rzeczywistych. Wyniki oznaczeń jonów kadmu zostały zawarte w tabeli 2 - kolumna 3. przedstawia wartości stężeń w celce pomiarowej, natomiast ostatnia kolumna - rzeczywiste stężenia jonów kadmu w badanych próbkach, otrzymane po uwzględnieniu rozcieńczenia.

Tabela 2. Stężenia jonów kadmu w badanych próbkach.

Lp	Próbka	Stężenie w naczyniu [µg/L]	Stężenie rzeczywiste [µg/L]
1.	woda surowa	0,0068 ± 0,0011	0,0339 ± 0,0056
2.	woda wyjściowa uzdatniona	0,0038 ± 0,0015	0,0192 ± 0,0077
3.	"woda sztuczna" przed filtracją	0,01189 ± 0,00057	0,1189 ± 0,0057
4.	"woda sztuczna" po filtracji	0,0518 ± 0,0031	0,518 ± 0,030
5.	kwas octowy przepuszczony przez antracyt	0,1080 ± 0,0034	1,080 ± 0,034

Uzyskane woltamogramy dla "wody sztucznej" przed filtracją przedstawia rys. 6a, zaś otrzymane na ich podstawie krzywe kalibracyjne dla kadmu i ołowiu zawarte są odpowiednio na rysunkach 6b i 6c.

Analizując wartości w tabeli 2. można zauważyć, że stężenie jonów kadmu w wodzie uzdatnionej zmniejsza się o ok. 1/3 w porównaniu do wartości początkowej, wskutek wieloetapowego procesu uzdatniania wody, co jest zjawiskiem pożądanym. W wyniku przepuszczenia "wody sztucznej", w której stężenie jonów kadmu było trzykrotnie większe niż w wodzie surowej, nastąpił wzrost stężenia tego indywiduum chemicznego. Było to najprawdopodobniej spowodowane wymyciem jonów kadmu z badanego złoża antracytu, czego potwierdzenie stanowi fakt, że jony te w znacznej ilości zostały oznaczone w przesączu otrzymanym w wyniku przepuszczenia kwasu octowego przez wspomniany materiał sorpcyjny. Otrzymane wartości stężeń jonów kadmu w wodzie surowej oraz wodzie uzdatnionej są znacznie mniejsze od wartości dopuszczalnej przez odpowiednie rozporządzenie (5 µg/L).



Rys.6 Oznaczenie jonów kadmu i ołowiu techniką ASV DP w "wodzie sztucznej" przed filtracją: (a) uśrednione prądy pików dla badanej próbki i kolejnych dodatków wzorca, (b) metoda dodatku wzorca - krzywa kalibracyjna dla jonów kadmu, (c) krzywa kalibracyjna dla jonów ołowiu. Czas załączenia 1 min.

Dla każdej rejestracji tła (wody destylowanej) obserwowano pik przy potencjale ok. -370 mV pochodzący od ołowiu. Korzystając z metody dodatku wzorca otrzymano zawartość jonów ołowiu w wodzie destylowanej równą:

$$c_{\text{Pb}(wd)} = (0,079 \pm 0,042) \mu\text{g/L}.$$

Stężenie jonów ołowiu w próbkach rzeczywistych obliczano według zależności:

$$c_{\text{Pb}(pr)} = \frac{c \cdot (V_{wd} + V_{pr}) - c_{\text{Pb}(wd)} \cdot V_{wd}}{V_{pr}} \quad (1)$$

gdzie: $c_{Pb(pr)}$ - stężenie jonów ołowiu w próbce rzeczywistej, c - oznaczone stężenie jonów ołowiu w naczynku, V_{wd} - objętość użytej wody destylowanej, V_{pr} - objętość próbki. Wartości c oraz $c_{Pb(pr)}$ zawarte są w tabeli 3.

Tabela 3. Stężenia jonów ołowiu w badanych próbkach.

Lp	Próbka	Stężenie w naczyniu [$\mu\text{g/L}$]	Stężenie rzeczywiste [$\mu\text{g/L}$]
1.	woda surowa	$0,098 \pm 0,019$	$0,175 \pm 0,093$
2.	woda wyjściowa uzdatniona	$0,1141 \pm 0,0014$	$0,2526 \pm 0,0068$
3.	"woda sztuczna" przed filtracją	$0,0751 \pm 0,0078$	$0,0178 \pm 0,0018$
4.	"woda sztuczna" po filtracji	$0,077 \pm 0,012$	$0,0270 \pm 0,0031$
5.	kwas octowy przepuszczony przez antracyt	$0,204 \pm 0,052$	$0,66 \pm 0,26$

Porównując wartości w tabeli 3. można zauważyć, że w wyniku operacji dokonywanych w zakładzie uzdatniania wody stężenie jonów ołowiu zwiększa się o ok. 1/3 w porównaniu do wartości wyjściowej. W przypadku jonów kadmu mieliśmy do czynienia z obniżeniem zawartości, co wskazuje na to, że jony kadmu, w przeciwieństwie do jonów ołowiu, mogą być usuwane z wody w innych etapach uzdatniania. Efektem przepuszczenia "wody sztucznej" przez złoża antracytu był wzrost stężenia jonów ołowiu, co podobnie jak w przypadku jonów kadmu, było spowodowane wymyciem jonów tego metalu z badanego złoża antracytu.

Oznaczone stężenia jonów ołowiu w wodzie surowej oraz wodzie uzdatnionej są jeden lub dwa rzędy wielkości mniejsze od wartości dopuszczalnej przez odpowiednie rozporządzenie ($10 \mu\text{g/L}$).

4. Wnioski

Uzyskane niskie wartości zawartości jonów ołowiu oraz kadmu w wodzie surowej świadczą o wysokiej czystości Zbiornika Dobczyckiego, pod względem zawartości metali ciężkich. Przeprowadzone próby wykazały łatwość wymywania metali ciężkich, ze złoża antracytu, stosowanego jako medium filtracyjne w zakładzie uzdatniania wody. Zjawisko to przyczynia się do wzrostu stężenia kadmu i ołowiu w wodzie uzdatnionej. W związku z tym istotne jest przemywanie złoża w odpowiednich, zależnych m.in. od warunków pogodowych, odstępach czasowych.

Największą trudnością w wykonywanych analizach było niskie, mieszczące się w zakresie nanomolowym, stężenie oznaczanych metali. Dodatkowo zawartość jonów ołowiu w badanych próbkach, była porównywalna z jego zawartością w stosowanej wodzie destylowanej, co powodowało wysoki sygnał tła oraz konieczność skorygowania otrzymanych wyników. Może to być przyczyną znacznie większych błędów oznaczenia jonów ołowiu, w porównaniu z błędami oznaczenia jonów kadmu.

Literatura

- [1] <http://wodociagi.krakow.pl/zuw-raba.html> (stan na dzień 26.10.2017 r.)
- [2] <http://www.aquaseen.pl/antracyt-hydrotechniczny.html> (stan na dzień 26.10.2017 r.)
- [3] Z. Romanowska-Duda, *Metale ciężkie, jako specyficzne zanieczyszczenia środowiska wodnego*, Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska - skrypt

- [4] <http://www.higienawody.wsse.katowice.pl/ramki/metale.html> (stan na dzień 26.10.2017 r.)
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 27.11.2002 r. (Dz. U. z dn. 9.12.2002 r.) w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia
- [6] Ufnalska I., *Woltamperometria.*, Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, Warszawa, 2015 r., 2 - 16
- [7] Praca zbiorowa pod redakcją Kubiak W., Gołaś J., *Instrumentalne metody analizy chemicznej*, Wydawnictwo naukowe – AKAPIT, Kraków, 2005 r., 139 - 156
- [8] Cygański A., *Podstawy metod elektroanalitycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1999 r., 415-423
- [9] G. Lisak, F. Ciepela, J. Bobacka, T. Sokalski, L. Harju, A. Lewenstam *Determination of Lead(II) in Groundwater Using Solid-State Lead(II) Selective Electrodes by Tuned Galvanostatic Polarization*, *Electroanalysis* 2013, 25, 123-131
- [10] Hyk W., Stojek Z. *Analiza statystyczna w laboratorium analitycznym*, Komitet Chemii Analitycznej, Warszawa, 2000 r.