

## METALE CIĘŻKIE JAKO NIEPOŻĄDANE SKŁADNIKI WÓD POPŁUCZNYCH POCHODZĄCYCH Z UZDATNIANIA WÓD PODZIEMNYCH

Robert Nowak<sup>1</sup>, Anna Imperowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Technologii Środowiskowych i Bioanalitiky, Wydział Inżynierii Łądowej, Środowiska i Geodezji, Politechnika Koszalińska, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, e-mail: robert.nowak@tu.koszalin.pl

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wybrane aspekty problemu występowania metali ciężkich w ściekach i osadach, będących produktami odpadowymi w procesach uzdatniania wody. W pierwszej części pracy omówiono zagadnienia jakości powstających ścieków i osadów oraz działania, zmierzające do unieszkodliwiania takich odpadów. W dalszej części pracy, na przykładzie 12 stacji uzdatniania wód podziemnych w konkretnej gminie, przedstawiono problem jakości wód popłucznych, w szczególności występowania w nich metali ciężkich. Analiza obejmowała okres trzech lat: 2013, 2014 i 2015. Autorzy na przykładzie przedstawionych obiektów wykazali, że w wodach popłucznych z uzdatniania wód podziemnych, poza uwodnionymi tlenkami żelaza i manganu, mogą występować inne, toksyczne zanieczyszczenia. W szczególności analiza jakościowa popłuczyn wykazała obecność metali ciężkich, głównie cynku. Wyniki badań wód popłucznych porównano z wynikami oceny jakościowej filtratu, w którym metali ciężkich nie stwierdzono. Fakt ten wskazywał na zatrzymanie metali w złożu filtracyjnym i jednocześnie nietrwałe ich w nim umocowanie, czego skutkiem było przedostawanie się metali ciężkich ze złoża do wód popłucznych wraz z innymi zanieczyszczeniami, głównie tlenkami żelaza i manganu. Zasadniczym wnioskiem, płynącym z pracy, jest wykazanie konieczności stałego monitorowania jakości popłuczyn, w tym pod kątem obecności toksycznych metali ciężkich. Jest to istotne także ze względu na wymóg maksymalnego ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko odpadów, wytwarzanych w procesie uzdatniania wody.

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, uzdatnianie wody, wody popłuczne.

## HEAVY METALS AS UNWANTED COMPONENTS OF BACKWASH WATER DERIVED FROM GROUNDWATER TREATMENT

### ABSTRACT

The paper presents some aspects of the problem of heavy metals presence in wastewater and sewage sludge from water treatment. In the first part, issues on quality of wastewaters and sludge produced during water treatment along with actions aimed at the neutralization of such wastes, were discussed. Subsequent parts of the work present the example of 12 groundwater treatment stations in a particular municipality, and the problem of backwash water quality, in particular, heavy metals contents. The analysis covered a period of three years: 2013, 2014, and 2015. The authors, using the discussed examples, have shown that besides hydrated iron and manganese oxides, also other toxic contaminants can be present in backwash water from groundwater treatment. In particular, the qualitative analysis of the backwash water revealed the presence of heavy metals, mainly zinc. The test results for backwash water were compared with those of filtrate qualitative assessment, wherein the heavy metals were not found. This fact indicated the metal retention in the filter bed and their unsustainable immobilization resulting in penetration of heavy metals from deposit to the backwash water along with other impurities, mainly iron and manganese oxides. The main conclusion from the study is to demonstrate the need for constant monitoring of the backwash water quality, including the presence of toxic heavy metals. This is also important because of the requirement to minimize the negative environmental impact of wastes generated during the water treatment process.

**Keywords:** heavy metals, water treatment, backwash water

## WPROWADZENIE

Jakość wód podziemnych, ujmowanych na cele wodociągowe, jest z reguły dużo wyższa niż wód powierzchniowych. Uzdatnianie wód podziemnych sprowadza się najczęściej do usunięcia ponadnormatywnych stężeń związków żelaza i manganu. Jednak w wodach podziemnych mogą być obecne inne zanieczyszczenia, niebezpieczne dla człowieka i środowiska. Przed dostarczeniem wody konsumentom konieczne jest usunięcie takich substancji z wody. Także w przypadku stwierdzenia obecności toksycznych zanieczyszczeń w osadach i ściekach, generowanych podczas uzdatniania wody, zagospodarowanie takich pozostałości musi uwzględniać ograniczenia prawne, w tym aspekty ochrony środowiska. Unieszkodliwianie powstających odpadów jest istotnym problemem podczas eksploatacji obiektów oczyszczania wody, bowiem skład osadów i ścieków, generowanych w procesach technologicznych, jest znacząco uzależniony od rodzaju i jakości uzdatnianej wody. Migracja zanieczyszczeń do wody i powstających odpadów może wiązać się z wprowadzaniem pewnego ładunku substancji toksycznych [Leszczyńska 2009].

Szczególne znaczenie dla oceny osadów z uzdatniania wody pod kątem zagrożeń dla środowiska ma obecność w nich metali ciężkich. Osady zawierające metale ciężkie, z uwagi na łatwość przedostawania się takich zanieczyszczeń do środowiska poprzez wymywanie, powinny być uznawane za niebezpieczne [Dymaczewski i in. 2015]. Oczywistym więc jest, że sposób zagospodarowania osadów powinien uwzględniać obecność tych substancji. Np. autorzy pracy [Leszczyńska i in. 2009] zwracają uwagę na fakt, że metale ciężkie przy przekroczeniu stężeń progowych inhibują proces nityfikacji i rozkładu związków węgla, co w przypadku odprowadzania osadów i popłuczyn do sieci kanalizacyjnej może mieć wpływ na proces biologicznego rozkładu zanieczyszczeń.

Z tych względów znaczenie mają zarówno działania, zmierzające do zapewnienia odbiorcom wody bezpiecznej, spełniającej określone wymagania jakościowe, jak i stałe monitorowanie jakości powstających osadów i ścieków, także pod kątem obecności toksycznych metali ciężkich.

## CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW ORAZ MOŻLIWOŚCI ICH UNIESZKODLIWIANIA

Problem produktów odpadowych dotyczy każdej stacji uzdatniania wody. Ilość i jakość ścieków i osadów, powstających w obiektach SUW, zależy od szeregu czynników, głównie od składu ujmowanej wody. Szczególnie niepożądane są zanieczyszczenia toksyczne, niebezpieczne dla człowieka i środowiska, do których zaliczyć można m.in. metale ciężkie. Autorka pracy [Leszczyńska 2009] podkreśla, że zagrożenia, wynikające z toksyczności powstających osadów, określane są nie tylko poprzez skład wody surowej, ale i technologię jej uzdatniania, w tym stosowane reagenty. Najwięcej substancji toksycznych znajduje się w osadach, generowanych w procesie koagulacji. Do procesów technologicznych, generujących najbardziej niebezpieczne osady, autorka zalicza także procesy zmiękczenia wody wapnem oraz wymianę jonową. W tym ostatnim procesie usuwane są substancje, powodujące twardość i zasolenie wody, a odpady powstają podczas płukania i regeneracji. W takich ściekach mogą występować, poza jonami Mg, Ca i Na, także jony Al, As, Cr i in. Szczegółową charakterystykę jakościową takich osadów przedstawiono w pracy [Nowacka i in. 2014]. Autorki podkreśliły znaczenie właściwości fizykochemicznych osadów przy wyborze sposobu ich zagospodarowania. Według autorów pracy [Płonka i in. 2012], decydujący wpływ na zawartość metali ciężkich w osadach pokoagulacyjnych ma jakość ujmowanej wody oraz charakter ujęcia. Autorzy prowadzili badania osadów z uzdatniania wody, pochodzącej z dwóch różnych ujęć, z których jedno stanowił zbiornik nieprzepływowy o dużej głębokości i pojemności, a drugie płytki zbiornik przepływowy. Autorzy stwierdzili obecność w osadach takich metali, jak chrom, kadm, miedź, nikiel, ołów, rtęć, cynk. W przypadku obiektu, ujmującego wodę ze zbiornika nieprzepływowego, wszelkie okresowe zmiany klimatyczne (deszcz, roztopy) wywoływały mniejsze zmiany w zawartości metali w osadach pokoagulacyjnych niż w przypadku drugiego ujęcia, zasilanego wodą z rzeki. W tym ostatnim przypadku odnotowano znaczne wahania stężeń poszczególnych pierwiastków.

W praktycznie każdym systemie uzdatniania wykorzystana jest filtracja wody. Dotyczy to także uzdatniania wód podziemnych. Podczas filtracji powierzchni ziaren złoża filtracyjnego oraz przestrzenie międzyziarnowe wypełniają się

wychwytywanymi z wody cząstkami, czego efektem jest stopniowa kolmatacja złoża filtracyjnego [Piecuch 2010], a ostatecznie konieczność jego regeneracji. W pracy [Slavik i in. 2013] przedstawiono wyniki badań wpływu procedury płukania złoża filtracyjnego na skuteczność filtracji, a oceny procesu dokonano za pomocą nowego zintegrowanego podejścia, opartego na wydajności. W ten sposób wykazano wpływ procedury płukania filtrów na długość cyklu filtracyjnego, na wymaganą intensywność płukania oraz objętość popłuczyn. Wykazano także, że tryb płukania filtra wpływa na czas trwania płukania, długość cykli filtracyjnych oraz na jakość odpływu z filtra bezpośrednio po płukaniu (tzw. pierwszego filtratu). Doświadczenia z optymalizacji pracy układu technologicznego SUW w Straszynie [Walczak 2010] pokazują, że prawidłowo prowadzone płukanie pozwala uzyskać pierwszy filtrat o bardzo wysokiej jakości, co w określonych warunkach pozwala na wyeliminowanie jego zrzutu do kanalizacji.

Wody popłuczne ze stacji uzdatniania wody wg katalogu odpadów zaliczane są do grupy 19 odpadów, a za ich wprowadzanie do odbiornika wodnego lub gruntowego naliczane są opłaty za gospodarcze korzystanie ze środowiska. Popłuczyny, powstające podczas płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiania wód podziemnych, charakteryzują się odmiennym składem od popłuczyn, pochodzących z uzdatniania wód powierzchniowych. Zawierają dużą ilość zawieszin, a w ich składzie dominują amorficzne silnie uwodnione tlenki i wodorotlenki żelaza oraz manganu. Są jednak z reguły wolne od bakterii heterotroficznych i innych mikroorganizmów patogennych (choć często zawierają autotroficzne bakterie żelazowe, manganowe i nitryfikacyjne). Jednorodność i stabilność składu chemicznego większości przypadków popłuczyn, pochodzących z uzdatniania wód podziemnych, podkreśla m.in. autorka pracy [Zimoch 2013]. Jednak wśród wniosków z badań, przeprowadzonych w ramach pracy [Wiercik 2011] jest stwierdzenie, że skład jakościowy popłuczyn, powstających podczas odżelaziania wody, znacząco zmienia się w trakcie płukania filtrów, a znaczenie mają m.in. zmienne warunki w złożu podczas filtracji, w szczególności podczas wytrącania się uprzednio rozpuszczonych związków żelaza.

Zagospodarowanie wód popłucznych najczęściej odbywa się poprzez ich mechaniczne oczyszczanie w odstojnikach w procesie sedy-

mentacji. Następnie wody nadosadowe kierowane są do kanalizacji sanitarnej, gruntu lub do wód powierzchniowych, natomiast osady są wywożone na składowiska odpadów lub, po ich higienizacji, wykorzystywane w przemyśle [Wiercik 2011]. Na odprowadzanie wód popłucznych do odbiornika wymagane jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego, w którym zostaje określona częstotliwość i zakres badań, objętość odprowadzanych popłuczyn oraz wymagania, jakie muszą zostać spełnione przed ich wprowadzeniem do odbiornika [Rozporządzenie 2014].

Na skuteczność sedymentacji osadów wpływać może wiele czynników. W pracy [Kalenik i in. 2011] przedstawiono wyniki badań, oceniających skuteczność sedymentacji osadów, pochodzących z płukania filtrów do odżelaziania wody. Największą objętość osadów uzyskano w pierwszych 30 minutach sedymentacji. Autorzy stwierdzili, że najwięcej osadów ze złóż filtracyjnych jest wypłukiwanych w pierwszych sześciu minutach płukania, natomiast dalsze płukanie generuje dodatkowe objętości wody ze znikomą zawartością osadów. Skuteczność sedymentacji osadów autorzy ocenili, porównując dwa sposoby płukania złoża, tj. płukanie powietrzem i wodą oraz samą wodą. Lepszą efektywność uzyskali dla płukania powietrzno-wodnego. Pozytywny wpływ kontaktu powietrza z cząstkami odpłukiwanych zawieszin na skuteczność ich sedymentacji wykazał także autor pracy [Wiercik 2011]. W tym przypadku kontakt z powietrzem nastąpił już po odprowadzeniu zanieczyszczeń z filtra. Autor stwierdził, że sedymentacja popłuczyn z pozostawianiem wytrąconych osadów w odstojnikach jest technologicznie mało sprawna, a sposobem na podniesienie sprawności jest okresowe napowietrzanie popłuczyn lub układ napowietrzanie – koagulacja. Zauważył także, że decydujące znaczenie ma moment napowietrzania popłuczyn - powinno ono nastąpić przed sedymentacją, tj. bezpośrednio po odprowadzeniu popłuczyn z filtrów.

Zmiany w aktach prawnych, regulujących gospodarowanie odpadami, powodują konieczność optymalizacji gospodarki osadowej na stacjach uzdatniania wody, gdzie należy dążyć do uzyskania jakości osadów, umożliwiającej ich powtórne wykorzystanie [Dymaczewski i in. 2015]. W przypadku popłuczyn ich zagospodarowanie może odbywać się poprzez zwracanie do układu technologicznego. Problem recykulacji tzw. „wód zużytych” jest z wielu względów zagadnie-

niem złożonym i niekiedy trudnym do realizacji. Niewłaściwe wykonywanie recyklingu popłuczyn może bowiem wpływać ujemnie na efektywność procesu technologicznego i znacznie pogorszyć jakość uzdatnionej wody. W Polsce około 2/3 wód, ujmowanych na cele wodociągowe, pochodzi z ujęć wód podziemnych [Kowal i in. 2009]. Najczęściej nie zawierają one domieszek chemicznych i biologicznych, stąd zastosowanie recyrkulacji popłuczyn byłoby z wielu względów celowe. Decyzja jest trudniejsza w przypadku popłuczyn, powstających podczas uzdatniania wód powierzchniowych. W ich przypadku bowiem konieczne byłyby modernizacje układów technologicznych, skutkujące wzrostem nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych stacji uzdatniania [Wiercik i in. 2011]. Ponadto szczególnie ważny jest aspekt zanieczyszczeń mikrobiologicznych, których zawartość w wodach zawracanych jest często wielokrotnie większa niż w wodach, wprowadzanych do systemu uzdatniania [Bochnia i in. 2013]. Jednak powyższe obawy często są nieuzasadnione. Doświadczenia praktyczne pokazują bowiem [Zimoch 2013], że zawracanie wód z płukania filtrów do głównego ciągu technologicznego uzdatniania wody umożliwia uzyskanie szeregu korzyści ekonomicznych i środowiskowych, a zagrożenie skażeniem bakteriami może być całkowicie wyeliminowane. Autorka stwierdza, że dokonując oceny ekonomicznej systemu unieszkodliwiania odpadów z uzdatniania wody, w szczególności kosztów inwestycji i eksploatacji obiektów z recyrkulacją popłuczyn, należy przeprowadzić analizę warunków eksploatacyjnych danego zakładu pod kątem skuteczności technologicznej i skutków środowiskowych.

Zagadnienie unieszkodliwiania odpadów z uzdatniania wody w kompleksowy sposób ujęto w pracy [Dymaczewski i in. 2015], gdzie przedstawiono sposoby wykorzystania osadów, alternatywne dla odprowadzania osadów bezpośrednio do systemu kanalizacyjnego. Autorzy wskazali możliwości wykorzystania osadów jako sorbentów metali i innych zanieczyszczeń, stosowania ich w produkcji materiałów budowlanych, rolnictwie i leśnictwie, utylizacji wspólnie z osadami ściekowymi, wykorzystania do oczyszczania ścieków (osady po zmiękczeniu i dekarbonizacji) i wiązania siarkowodoru (osady, zawierające sole żelazowe).

Problemu odpadów z uzdatniania wody dotyczy też kolejna część pracy. Na przykładzie konkretnych obiektów przedstawiono problem

jakości wód popłucznych, pochodzących z uzdatniania wód podziemnych, w szczególności obecności w popłuczynach metali ciężkich.

## **PROBLEM WYSTĘPOWANIA METALI CIĘŻKICH W WODACH POPŁUCZNYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH STACJI UZDATNIANIA WODY**

Metale ciężkie w ujmowanych wodach mogą być pochodzenia naturalnego i antropogenicznego. W pierwszym przypadku źródłem obecności metali jest głównie wietrzenie skał, erupcja wulkanów i parowanie oceanów, w drugim przede wszystkim działalność przemysłowa człowieka, związana np. z przemysłem metalurgicznym, zagospodarowaniem ścieków komunalnych czy stosowaniem nawozów sztucznych i pestycydów [Kowal i in. 2009]. Występowanie metali ciężkich w ilościach większych od zawartości geochemicznych (czyli powyżej tzw. stężenia naturalnego) stwierdzana jest w płytkich wodach podziemnych, mających bezpośredni kontakt ze źródłem zanieczyszczeń. Obecność metali ciężkich w wodzie może wynikać też z innych przyczyn, związanych z przebiegiem procesów uzdatniania wody, w szczególności jej filtracji. Autorka pracy [Leszczyńska 2009] stwierdza, że podczas tego procesu metale ciężkie mogą przenikać do wody z zanieczyszczonych złóż i kruszyw filtracyjnych. Takie zjawisko może zachodzić także podczas płukania, bowiem choć metale ciężkie są zatrzymywane w złożu filtracyjnym, to jednak nie są w nim trwale umocowane [Pruss 2012]. Z tych względów mogą pojawić się w ściekach, pochodzących z płukania złóż filtracyjnych.

Problem obecności metali ciężkich w popłuczynach przedstawiono na przykładzie obiektów uzdatniania wód podziemnych, zlokalizowanych na terenie konkretnej gminy. Mieszkańcy tej gminy zaopatrywani są w wodę do spożycia poprzez 12 systemów wodociągowych, opartych o ujęcia wody podziemnej. W celu zapewnienia konsumentom wody o odpowiedniej jakości, przed skierowaniem do sieci wodociągowej ujmowane wody poddawane są uzdatnianiu. W dziesięciu przypadkach zastosowano konwencjonalne układy technologiczne dla wód podziemnych, gdzie woda w pierwszej kolejności jest poddawana procesowi napowietrzania, a następnie filtracji. We wszystkich tych obiektach zastosowano układy zamknięte, oparte o ciśnieniowe mieszacze wodno-powietrzne oraz



filtry ciśnieniowe pionowe. W pozostałych dwóch przypadkach, z uwagi na jakość ujmowanej wody, konwencjonalne układy uzdatniania wzbogacono o urządzenia do realizacji procesu wymiany jonowej. Są to miejscowości H i I (wg oznaczeń, zawartych w tabeli 1).

W tabeli 1 przedstawiono sumaryczne objętości wód popłucznych, wygenerowanych podczas eksploatacji filtrów w kolejnych latach od 2013 do 2015 w poszczególnych obiektach uzdatniania wody w gminie. Dane, zawarte w tabeli 1 pokazują, że ilości wód popłucznych, wygenerowanych w poszczególnych obiektach, nie ulegały w latach 2013 - 2015 znaczącym zmianom. W każdym przypadku popłuczyny stanowiły do 5% ilości wód, poddawanych filtracji (stwierdzono na podstawie danych z lokalnego ZWiK), co jest zgodne z zależnościami, wskazywanymi w literaturze.

Znaczące zmiany ilościowe w analizowanym okresie zaobserwowano jedynie w dwóch przypadkach, a przede wszystkim w miejscowości L, gdzie 2015 w roku nastąpił gwałtowny wzrost objętości wygenerowanych popłuczyn (ścieków przemysłowych). Było to konsekwencją modyfikacji procesu płukania, w szczególności zmian w częstotliwości i czasie płukania filtrów. Do czerwca 2015 roku filtry były płukane automatycznie dwa razy w tygodniu przez 8 minut w porze nocnej. Po przeprowadzeniu ww. zmian jeden filtr płukany jest przez 16 minut, a raz na dwa miesiące wymuszane jest płukanie ręczne w ciągu dnia. Modyfikacja ta, wraz z równolegle przeprowadzoną wymianą złoża filtracyjnego w jednym z odżelaziaczy, to działania napraw-

cze, będące reakcją na pogorszenie się jakości uzdatnionej wody w czerwcu 2015 r. Jego przyczyną było zbrylenie części złoża filtracyjnego w jednym z filtrów i w konsekwencji niewłaściwe i nieskuteczne płukanie. W konsekwencji woda nie przepływała przez całe złożo, a jedynie przez utworzone w nim korytarze. Mangan, który wytrącał się w złożu filtracyjnym, na skutek niewłaściwej pracy filtra był podczas filtracji wypłukiwany ze złoża i wraz z uzdatnioną wodą trafiał do sieci wodociągowej. Skutkiem tego w wodzie u konsumentów pojawiał się czarny osad ditlenku manganu. Natomiast w miejscowości E wzrost objętości popłuczyn nastąpił w wyniku zwiększenia częstotliwości płukania filtrów z jednego na dwa razy w tygodniu, co było reakcją na pogorszenie się jakości ujmowanej wody i szybsze wyczerpywanie się pojemności złoża filtracyjnego. W pozostałych miejscowościach płukanie przeprowadzane jest ręcznie, raz bądź dwa razy w tygodniu, w zależności od potrzeb.

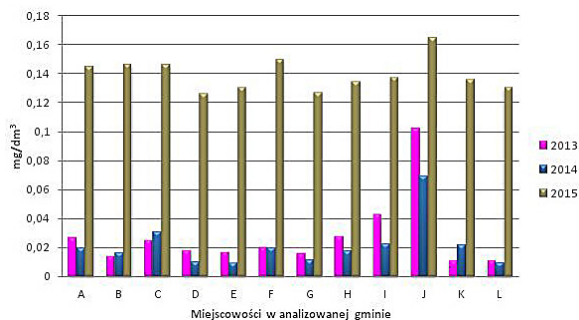
Autorka pracy [Leszczyńska 2009] podkreśla, że choć odpady pochodzące z uzdatniania wody zasadniczo uważa się za bezpieczne, należy dokonywać ich oceny pod względem możliwego działania toksycznego. Mając to na uwadze, poniżej przedstawiono informacje, dotyczące obecności metali ciężkich w wodach popłucznych, pochodzących z płukania filtrów na stacjach uzdatniania wody w miejscowościach od A do L. Zamieszczone dane pochodzą z lokalnego ZWiK. Stężenia średnie metali ciężkich, stwierdzone w popłuczynach w latach 2013, 2014 i 2015, umieszczono na rysunku 1.

**Tabela 1.** Objętość ścieków, pochodzących z płukania filtrów w latach 2013, 2014 i 2015

Miejscowości	Objętość wód popłucznych [m <sup>3</sup> ]		
	w roku 2013	w roku 2014	w roku 2015
A	285	295	275
B	265	275	255
C	552	600	640
D	290	285	265
E	235	260	400
F	730	780	780
G	704	832	776
H	228	280	275
I	668	688	672
J	285	265	255
K	480	560	488
L	8461	8490	18270

Porównując stacje uzdatniania wody w poszczególnych miejscowościach gminy pod kątem jakości generowanych popłuczyn należy zauważyć, że nie występują istotne różnice w stężeniach metali ciężkich. Jednak na rys. 1 wyraźnie jest zauważalny znaczący wzrost stężenia tych substancji dla wszystkich wód popłuczynnych, odnotowany dla roku 2015. Przyczyną tego wzrostu była zmiana metodyki badawczej oznaczania stężeń metali ciężkich w laboratoriach analitycznych. Na skutek zmienionej granicy oznaczalności, bez zmian w realizacji procesu filtracji i płukania złoża, od roku 2015 uzyskiwano dokładniejsze dane, dot. stężeń metali ciężkich, i jest to odzwierciedlone na rysunku 1. Na przykład średnie stężenie arsenu w popłuczynach w latach 2013 i 2014 określono na poziomie  $0,001 \text{ mg/dm}^3$ , natomiast  $0,007 \text{ mg/dm}^3$  w roku 2015. Podobna sytuacja jest z innymi metalami ciężkimi: kadmem z  $0,0001 \text{ mg/dm}^3$  w latach 2013 i 2014 i  $0,0006 \text{ mg/dm}^3$  w roku 2015, srebrem i wanadem: po  $0,001 \text{ mg/dm}^3$  w latach 2013 i 2014, a  $0,07 \text{ mg/dm}^3$  (srebro) i  $0,08 \text{ mg/dm}^3$  (wanad) w roku 2015. Inaczej sytuacja przedstawia się z cynkiem, który obok srebra ma największy udział w na łącznej ilości metali ciężkich w popłuczynach z uzdatniania wody w badanych obiektach SUW. Odpowiednie dane przedstawiono na rysunku 2, na którym zobrazowano sytuację dla obiektów w miejscowościach A i J. Najmniejszy udział w łącznej ilości metali ciężkich mają tutaj rtęć oraz kadm, następnie nikiel i ołów.

Z uwagi na wyraźnie największy wpływ udziału cynku na łączną ilość metali ciężkich w miejscowości J, w porównaniu do mniejszego wpływu tego pierwiastka w pozostałych miejscowościach (np. miejscowość A), na rysunku 3 przedstawiono kształtowanie się stężenia cynku w popłuczynach w 12 miejscowościach w latach

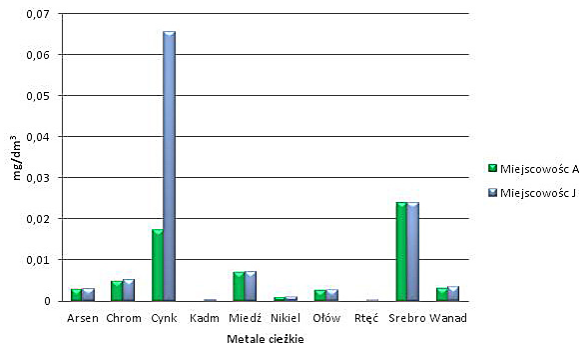


Rys. 1. Średnie stężenia metali ciężkich w popłuczynach w miejscowościach od A do L w latach 2013, 2014 i 2015

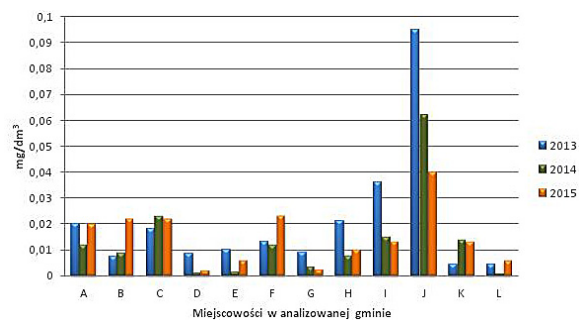
2013 ÷ 2015. Wartości, zamieszczone na rysunku 3, odniesione do odpowiednich danych na rysunku 1, pokazują, jak duży jest udział cynku w łącznej ilości metali ciężkich w badanych wodach popłuczynnych. Procentowy udział cynku waha się w granicach od 15% (miejscowość L) do 90% (w przypadku miejscowości J). Należy zauważyć znaczące zmiany w stężeniach cynku w analizowanych latach, przy czym w większości obiektów w popłuczynach zaobserwowano spadek zawartości tego pierwiastka. Największy spadek został stwierdzony w miejscowości J.

W ciągu dwóch lat stężenie cynku obniżyło się o  $0,055 \text{ mg/dm}^3$  i w 2015 r. stanowi 50% jego stężenia z roku 2013, oraz w miejscowości G – w analogicznym okresie spadek wyniósł  $0,0065 \text{ mg/dm}^3$ . Wśród kilku miejscowości, w których w analizowanym okresie zaobserwowano wzrost stężenia cynku, największą zmianę zaobserwowano w miejscowości B – między rokiem 2013 a 2015 stężenie cynku wzrosło o  $0,0148 \text{ mg/dm}^3$ , tj. o 67%.

Na rysunku 4 zobrazowano wielkości ładunków metali ciężkich, trafiających do środowiska w latach 2013 ÷ 2015. Najwięcej metali



Rys. 2. Średnie stężenie metali ciężkich w wodach popłuczynnych w miejscowościach A i J w latach 2013, 2014 i 2015



Rys. 3. Stężenie cynku w wodach popłuczynnych, w miejscowościach od A do L w latach 2013, 2014 i 2015.

ciężkich zostało odprowadzonych do wód płynących i gruntu w miejscowości L, co wynikało z wydajności obiektu SUW i dużej ilości wygenerowanych popłuczyn. Widoczny na rys. 4 wzrost ładunku metali ciężkich w miejscowości L dla 2015 roku to skutek zwiększenia objętości wygenerowanych popłuczyn (tab. 1). W celu dokładniejszego zobrazowania sytuacji w pozostałych miejscowościach, na rysunku 5 nie umieszczono danych dla miejscowości L, a przedstawiono dotyczące pozostałych miejscowości, gdzie znacznie mniej wody było zużytej na płukanie filtrów.

Dane, zawarte na rysunku 5 wskazują, że w popłuczynach generowanych w pozostałych obiektach na terenie gminy, w badanych latach wystąpiły różnice w wielkości wprowadzanych do środowiska ładunków metali ciężkich.

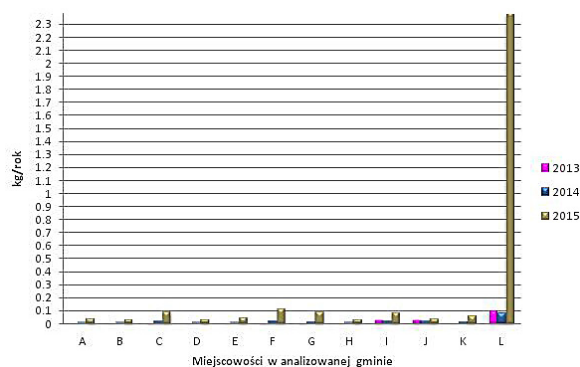
Obiekt uzdatniania wody, z którego do środowiska wraz z popłuczynami wprowadzane są największe ładunki metali ciężkich, zlokalizowany jest w miejscowości F (nie uwzględniono obiektu w miejscowości L, ujętego na rysunku 4). Najmniej ładunków metali ciężkich w analizowanym okresie wygenerowanych było w miejscowości B.

## PODSUMOWANIE

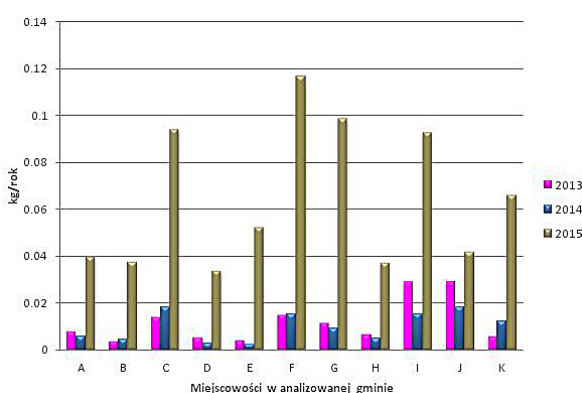
Wprowadzanie do środowiska odpadów z uzdatniania wody może stanowić realne zagrożenie dla środowiska, szczególnie w przypadku obecności w nich metali ciężkich. W pracy wykazano, że toksyczne zanieczyszczenia mogą być obecne także w wodach popłuczynnych, pochodzących z uzdatniania wód podziemnych. W przypadku opisywanych w pracy obiektów, na łączną zawartość metali ciężkich w wodach popłuczynnych największy wpływ ma stężenie cynku, najmniej natomiast kadmu i rtęci.

W wyniku płukania filtrów do odbiorników, którymi w poszczególnych miejscowościach gminy są wody płynące bądź grunt, wraz z popłuczynami trafia rocznie od 0,03 kg do 2,3 kg metali ciężkich. Ilość toksycznych zanieczyszczeń, kierowanych do środowiska, w każdym przypadku zależy głównie od ilości wody, zużytej w procesie płukania filtrów. Reasumując – im więcej wody zostało zużytej w procesie płukania filtrów, tym większy ładunek metali ciężkich został wprowadzony do środowiska.

Mając na uwadze względy techniczne, ekonomiczne oraz proekologiczne, za optymalną należy uznać taką realizację procesu płukania,



Rys. 4. Ładunki metali ciężkich, wprowadzanych do odbiorników wraz z popłuczynami z uzdatniania wody w miejscowościach od A do L w latach 2013, 2014 i 2015



Rys. 5. Ładunki metali ciężkich, wprowadzane do odbiorników wraz z popłuczynami z uzdatniania wody w miejscowościach od A do K w latach 2013, 2014 i 2015

w której osiągnięcie pełnego uwolnienia zanieczyszczeń ze złoża filtracyjnego nastąpi przy najmniejszym możliwym zużyciu wody płuczającej. Jednak z uwagi na możliwość negatywnego wpływu odprowadzanych wód popłuczynnych na środowisko, taki kierunek optymalizacji procesu płukania powinien być związany ze stałym monitoringiem popłuczyn pod kątem ich jakości, w tym obecności metali ciężkich.

## LITERATURA

- Bochnia T., Żaba T.: Zasady recyklingu wód popłuczynnych w aspekcie mikrobiologicznej jakości wody do spożycia. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 10, 2003, 324–326.
- Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Komorowska-Kaufman M., Krajewski P., Sozański M.M.: Zagospodarowanie odpadów z procesów uzdatniania wody. *Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dys-*

trybucji wody, Gliwice, 4, 2015, 11–26.

3. Kalenik M., Morawski D.: Badanie ilości i prędkości sedymentacji osadów w wodach popłucznych z filtrów pospiesznych. *Nauka Przyroda Technologie*, tom 5, z. 5, 2011, #81.
4. Kowal A., Świdarska-Bróż M.: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Wrocław, 2009.
5. Leszczyńska M.: Substancje szkodliwe w osadach i popłuczynach z uzdatniania wody. *Technologia Wody*, 9, 2009, 7–13.
6. Leszczyńska M., Sozański M.M.: Szkodliwość i toksyczność osadów i popłuczyn z procesu uzdatniania wody. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 2009.
7. Nowacka A., Włodarczyk-Makuła M.: Charakterystyka osadów powstających w procesach uzdatniania wody ze szczególnym uwzględnieniem osadów pokoagulacyjnych. *Technologia Wody*, 6(38), 2014, 34–39.
8. Piecuch T.: *Technika wodno-mułowa urządzenia i procesy*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
9. Płonka I., Pieczykolan B., Amalio-Kosel M., Loska K.: Metale ciężkie w osadach powstających przy uzdatnianiu wody. *Proceedings of ECOpole*, 6(1), 2012, 337–342, doi: 10.2429/proc.2012.6(1)047.
10. Pruss A., Jeż-Walkowiak J., Sozański M.M.: Concentration of heavy metals on surface of filter materials and in Backwash Water. *Metals and Related Substances in Drinking Water*, 2012, 217–222.
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
12. Slavik I., Jehmlich A., Uhl W.: Impact of backwashing procedures on deep bed filtration productivity in drinking water treatment. *Water Research*, 47, 2013, 6348–6357.
13. Walczak R.: Badanie efektywności płukania filtrów żwirowych na stacji uzdatniania wody powierzchniowej w Straszynie. *Instal*, 6, 2010, 40–43.
14. Wiercik P.: *Badania nad oczyszczaniem popłuczyn powstających podczas płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiania wody*. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław 2011.
15. Wiercik P., Domańska M.: Wpływ recyrkulacji popłuczyn na jakość wody uzdatnionej – przegląd literatury. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 54, 2011, 333–343.
16. Zimoch I.: Celowość zwracania popłuczyn z filtrów pospiesznych w układach oczyszczania wody powierzchniowej. *Ochrona Środowiska*, 35(4), 2013, 17–22.