

ANALIZA EKONOMICZNA WYBRANYCH ZŁÓŻ ADSORPCYJNYCH STOSOWANYCH DO OCZYSZCZANIA WODY

Iwona Skoczko¹, Magdalena Horysz¹, Ewa Szatyłowicz¹, Łukasz Malinowski¹

¹ Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: i.skoczko@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy przeprowadzono analizę ekonomiczną złożów sorpcyjnych stosowanych do oczyszczania wody. Wybrano takie masy węglowe jak: złożo Organosorb 10, złożo Norit ROW 0.8 Supra, złożo Hydroantracyt N oraz złożo K110. Ekonomicznego uzasadnienia doboru konkretnych złożów dokonano w oparciu o koszt zakupu złożów filtracyjnych, opłata środowiskowa za pobór wody, koszt urządzeń do napowietrzania wody, koszt odczynników chemicznych do regeneracji złożów, koszt pompy dozującej reagenty do regeneracji powstających podczas prowadzenia procesu adsorpcji z zastosowaniem każdego z wybranych do analizy złożów. Najtańsze w eksploatacji okazało się złożo K110, najdroższe zaś Norit ROW 0.8 Supra. Koszty eksploatacji złożów adsorpcyjnych zależą głównie od zakupu adsorbentu i prędkości adsorpcji. Ponadto znaczny udział w kosztach eksploatacji złożów węglowych ma opłata środowiskowa za pobór wody, mniejszy niż zakup samego złoża.

Słowa kluczowe: złoża adsorpcyjne, oczyszczanie wody, koszty eksploatacji.

ECONOMIC ANALYSIS OF SELECTED ADSORPTION BEDS USED FOR WATER TREATMENT

ABSTRACT

In the paper an economic analysis of the sorption deposits used for water purification was performed. Such masses of carbon as Organosorb 10 deposit, Norit ROW 0.8 Supra deposit, Hydroantracyt N deposit and K110 deposit were selected. The economic substantiation for the selection of specific deposits was based on the purchase cost of filter deposits, the environmental fee for water intake, the cost of equipment to aerate water, the cost of chemicals for deposits regeneration, the cost of the dosing pump reagents for regeneration generated during the process of adsorption using each of the deposits selected to the analysis. K110 deposit turned out to be the cheapest in the exploitation and Norit ROW 0.8 Supra was most expensive. The operating costs of the adsorption deposits depend mainly on the purchase of the adsorbent and the speed of adsorption. Moreover, environmental fee for water intake constitutes a significant share in the costs of exploitation of carbon deposits, which is greater than the deposit costs.

Keywords: adsorption deposits, water purification, operating costs.

WPROWADZENIE

Adsorpcja na materiałach porowatych związana jest z dyfuzją zanieczyszczeń do wnętrza porów, w związku z czym adsorbowanie cząstek o dużych rozmiarach może stanowić ograniczenie dla mniejszych struktur [Bansal, Goyal 2005; Ignatowicz 2002; Zhou, Smith 2002].

Proces adsorpcji wykorzystywany jest często do poprawy właściwości organoleptycznych wody, usuwania zanieczyszczeń antropogenicz-

nych. Ze względu na uboczne produkty utleniania, przed dezynfekcją sorpcję stosuje się do usunięcia naturalnej materii organicznej, zaś po utlenianiu wstępnym sorpcja może posłużyć do usunięcia chloru pozostałego po stosowaniu dwutlenku chloru do utleniania [Nawrocki, Biłozor 2000]. Proces adsorpcji pozwala na wyeliminowanie z wody niebezpiecznych i uciążliwych do usunięcia rozpuszczonych związków organicznych pochodzenia naturalnego i antropogenicznego. [Skoczko 2009; Skoczko 2013] Adsorpcja

jest skuteczna również w usuwaniu bromu, jodu, fluoru oraz metali ciężkich, a skuteczność ich usuwania zależy od potencjału adsorpcji oraz rodzaju i ilości grup funkcyjnych na powierzchni węgla aktywnego [Kowal, Świdorska-Bróz 2009]. W procesie adsorpcji również są usuwane wirusy i bakterie. Biologicznie aktywne węgle zapewniają dobre efekty usuwania kwasów karboksylowych, aldehydów, ketonów, alkoholi i innych związków węgla i produktów utleniania ozonem [Krasner 1993, Skoczko 2009].

Ze względu na powierzchniowy charakter zjawiska, najlepszą pojemność adsorpcyjną wykazują adsorbenty mające znaczną powierzchnię właściwą, wynikającą z dużego udziału bardzo małych porów. Najczęściej stosowanym w uzdatnianiu wody adsorbentem jest węgiel aktywny w postaci ziarnistej, granulowanej lub sproszkowanej. Jest to substancja stała barwy czarnej o bardzo silnych zdolnościach wiązania na powierzchni substancji adsorbowanych.

O skuteczności węgla aktywnych decydują następujące cechy: pojemność adsorpcyjna, wielkość powierzchni właściwej, wielkość porów i ich rozkład, chemiczna natura powierzchni, uziarnienie powierzchni. Powyższe cechy zależą od rodzaju surowca użytego do produkcji węgla oraz warunków jego aktywacji. Jako surowce mogą posłużyć wszystkie substancje zbudowane z tego pierwiastka, a do najczęściej stosowanych należą węgiel drzewny, kamienny i brunatny, torf, antracyt, trociny, łupiny orzechów [Ignatowicz 2002; Kowal, Świdorska-Bróz 2009; Zhou, Smith 2002].

Na krajowym rynku dostępne są różne złoża adsorpcyjne przeznaczone do uzdatniania wód podziemnych. Oferowane są jako wypełnienie gotowych filtrów, jak również w postaci syplkiej umożliwiającej formowanie złoża we własnym zakresie. Odnaczają się różną skutecznością i efektywnością oddziaływania na substancje zawarte w wodzie, warunkami pracy, płukania oraz ceną zakupu. Na potrzeby niniejszej pracy założono, iż wszystkie stosowane materiały węglowe oczyszczają uzdatnianą wodę do wymaganych

parametrów przy zastosowaniu jednakowej dla każdej masy pojedynczej kolumny.

Celem pracy była analiza ekonomiczna wybranych 4 złożów adsorpcyjnych: Organosorb 10 [www.alamowaterpoland.com], Norit ROW 0.8 Supra [www.cerfiltr.pl], Hydroantracyt N [www.wodkaneko.pl] oraz K110 [www.bwt.pl; www.almars.pl].

METODYKA BADAŃ

Metodyka badań obejmowała analizę: kosztów zakupu, wysokości opłat środowiskowych, jednostkowego kosztu oczyszczania wody na danym złożu adsorpcyjnym. Wykonano obliczenia w 5 i 10-letnim okresie eksploatacji wybranych złożów, gdzie uwzględniono: koszt zakupu złoża, koszt opłaty środowiskowej w latach 2014–2018 oraz 2014–2023, ilość wody uzdatnionej w ciągu 5 lub 10 lat oraz jednostkowy koszt uzdatniania wody.

Cena zakupu oraz eksploatacji złożów węglowych

Zakup złożów, urządzeń oraz reagentów zależy od parametrów eksploatacji takich jak: wydajność ujęcia wody podziemnej, parametry wody podziemnej, wydajność SUW itp. Dobierając określone urządzenia oraz ich parametry kierowano się zaleceniami producentów. Podano ceny brutto uzyskane od producentów i dystrybutorów analizowanych materiałów (tab. 1).

Przyjęto 24-godzinny cykl pracy kolumny adsorpcyjnej, po którym złożo należy poddać płukaniu przeciwpłukowemu w celu utrzymania jej optymalnej efektywności oczyszczania. Do analiz założono stałą i jednakową objętość złożów, wynoszącą 0,375 m³. Najtańszym w zakupie złożem węglowym jest K110. Jego cena wynosi 1687,50 zł i jest ponad trzykrotnie niższa od najdroższego węgla aktywnego Norit ROW 0.8 Supra. Oba materiały wymagają obciążenia hydraulicznego w podobnym zakresie i są w stanie uzdatnić taką samą ilość wody. Wysoka cena węgla Norit ROW

Tabela 1. Koszt zakupu złożów węglowych
Table 1. The purchase cost of carbon deposits

Rodzaj złoża	Cena jednostkowa brutto [zł/dm ³]	Koszt zakupu złoża [zł]
Organosorb 10	12,05	4518,75
Norit ROW 0.8 Supra	14,00	5250,00
Hydroantracyt N	9,00	3375,00
K110	4,50	1687,50

0.8 Supra prawdopodobnie związana jest z jego uszlachetnieniem, które jak zapewnia producent, pozwala na wyższy stopień usuwania zanieczyszczeń. Kolejne złożo Hydroantracyt N ma dwukrotnie wyższą cenę niż K110 (tab. 1). Zaletą tego złoża jest podwyższona odporność na ścieranie oraz wyższa prędkość przepływu. Trzecim pod względem ceny jest złożo Organosorb 10, którego koszt zakupu wyniósł 4518,75 zł. Złożo to charakteryzuje się wyższą liczbą jodową niż złożo K110, jednak nieznacznie niższą od węgla firmy Norit.

Wysokość opłat środowiskowych

Ujmowanie wód, poza kosztami zakupu urządzeń i ich eksploatacji wymaga ponoszenia opłat za korzystanie ze środowiska [Dz. U. Nr 196, poz. 1217]. Przepisy określają, iż opłaty środowiskowe należy wносить jeżeli podmiot wykorzystuje w swojej działalności wodę podziemną lub powierzchniową. Opłaty środowiskowe wylicza się oraz wnosi na rzecz Skarbu Państwa za okres sześciu miesięcy, jednak na potrzeby niniejszej analizy opłaty będą wyliczane dla całego roku, co ułatwia obliczanie wyniku ekonomicznego (tab. 2). Kwota jaką będzie trzeba zapłacić w związku z poborem takiej wody zależy nie tylko od ilości jej zużycia, ale także od jej przeznaczenia. Inne są stawki za pobór wód podziemnych na zaopatrzenie ludności w wodę przeznaczoną do spożycia lub na cele socjalno-bytowe, a inne za pobór wody podziemnej na potrzeby produkcji, w której woda wchodzi w skład produktów żywnościowych lub farmaceutycznych lub na bezpośredni kontakt z nimi. Założono, że ujmowana będzie woda podziemna przeznaczona do spożycia przez ludzi oraz na cele

bytowo-gospodarcze w ilości, na jaką pozwala eksploatacja wybranych złóż adsorpcyjnych. Przy naliczaniu opłat za pobór wody podziemnej bierze się pod uwagę ilość pobranej wody w danym półroczu, jej cel zużycia oraz proces uzdatniania. Dlatego, aby obliczyć wysokość opłaty środowiskowej z tego tytułu należy pomnożyć ilość pobranej wody przez stawkę jednostkową (jej wysokość zależy od celu na jaki woda została zużyta) oraz współczynnik różnicujący, który jest uzależniony od sposobu uzdatniania.

W przypadku wód podziemnych stosuje się wzór:

$$\text{Opłata} = V \cdot S \cdot w$$

gdzie: V – ilość wody podziemnej w metrach sześciennych pobranej na określony cel zużycia w półroczu,

S – jednostkowa stawka opłaty, przyjęta dla danego celu użycia,

w – współczynnik różnicujący zależny od sposobu uzdatniania wody

Założono, że rokiem wyjściowym dla rozpoczęcia obliczeń jest rok 2014. Dla kolejnych lat przyjmuje się ilość uzdatnianej wody wynikającą z obciążenia kolumn (tab. 4), jednak wartość opłaty środowiskowej będzie ulegać zmianom ze względu na coroczny wzrost jednostkowej stawki opłaty za pobór wody. Wartość tego czynnika ustalono na podstawie stawek opłat z wcześniejszych lat i przedstawiono w tabeli 3.

Pięcioletni okres eksploatacji złoża

Ze względu na konieczność wymiany złoża węglowego po 3 latach eksploatacji założono

Tabela 2. Prognozowana wartość opłat środowiskowych dla złóż węglowych [PLN]

Table 2. Estimated value of environmental charges for deposits of carbon [PLN]

Rok	Wysokość stawki (S)	Rok	Wysokość stawki (S)
2011	0,060	2023	0,089
2012	0,062	2024	0,091
2013	0,065	2025	0,094
2014	0,067	2026	0,096
2015	0,070	2027	0,098
2016	0,072	2028	0,101
2017	0,074	2029	0,103
2018	0,077	2030	0,106
2019	0,079	2031	0,108
2020	0,082	2032	0,110
2021	0,084	2033	0,113
2022	0,086	–	–

Tabela 3. Prognozowana wysokość stawek opłat za pobór wody w latach 2015–2033 [PLN]**Table 3.** The projected amount of fees for water intake in the period 2015–2033 [PLN]

Nazwa złoża	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Organosorb 10	2140	2235	2299	2363	2459	2523	2619	2682	2746	2842	2906	3002	3066	3129	3225	3289	3385	3449	3513	3608
Norit ROW 0.8 Supra	1783	1863	1916	1969	2049	2102	2182	2235	2289	2368	2422	2501	2555	2608	2688	2741	2821	2874	2927	3007
Hydroantracyt N	2853	2980	3066	3151	3278	3364	3491	3576	3662	3789	3875	4002	4087	4173	4300	4385	4513	4598	4683	4811
K110	1783	1863	1916	1969	2049	2102	2182	2235	2289	2368	2422	2501	2555	2608	2688	2741	2821	2874	2927	3007

dwukrotny zakup tych złóż oraz koszt opłaty środowiskowej w latach 2014–2018. Ilość uzdatnionej wody wynika z optymalnego obciążenia kolumn wymaganego przez producenta.

W pięcioletnim okresie eksploatacji węgla aktywnych otrzymano niższe średnioroczne koszty niż w przypadku rocznego okresu eksploatacji. Najniższy jednostkowy koszt uzdatniania wody wyniósł 0,049 zł/m³ stosując złożo K110, następny wynik wyniósł 0,052 zł/m³ dla złoża Hydroantracyt N. Trzeci wynik wyniósł 0,064 zł/m³ dla węgla Organosorb 10. Najwyższy koszt wynoszący 0,075 zł/m³ uzyskano przy stosowaniu złoża Norit ROW 0.8 Supra.

Dziesięcioletni okres eksploatacji złoża

W dziesięcioletnim okresie eksploatacji uwzględniono czterokrotny zakup wszystkich złóż oraz koszty opłaty środowiskowej w latach 2014–2023. Inwestorzy decydujący się na zakup kolumn adsorpcyjnych zakładają długookresową efektywność technologii.

Najtańszym w 10-letniej eksploatacji węglem aktywnym jest złożo K110, którego jednostkowy koszt uzdatniania wody wyniósł 0,052 zł/m³. Podobnie jak w 5-letnim okresie eksploatacji, nieco wyższe koszty uzyskano dla pozostałych złóż. Najdroższe w eksploatacji jest złożo Norit ROW 0.8 Supra, dla którego jednostkowy koszt uzdatniania wody wyniósł 0,078 zł/m³.

Porównując zestawienie kosztów najkorzystniejsze jest złożo K110, zaś najbardziej kosztowne jest złożo Hydroantracyt N. Porównując jednostkowe koszty uzdatniania wody, złożo

antracytowe jest korzystniejsze od złóż Organosorb i Norit ROW ze względu na duży udział opłaty środowiskowej w kosztach poniesionych na eksploatację złoża Hydroantracyt N. Świadczy to o stosunkowo dużej ilości wody uzdatnionej w danym okresie, dzięki czemu poniesione koszty rozkładają się na większą ilość jednostek. W ciągu 10 lat na eksploatację najdroższego w zakupie Hydroantracytu trzeba ponieść wydatki w wielkości 46 710 zł, natomiast na najtańsze złożo K110 trzeba wydać 27 506 zł.

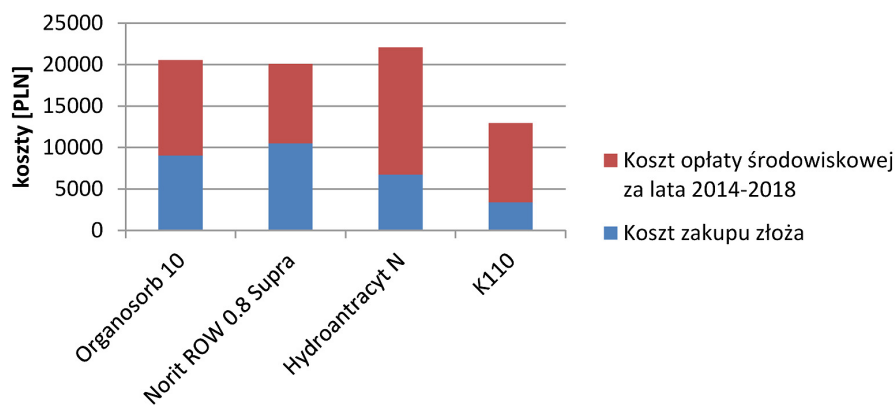
WYNIKI BADAŃ

Głównym czynnikiem kosztowym w pięcioletnim okresie eksploatacji jest koszt opłaty środowiskowej za pobór wody, mniejsze znaczenie ma zakup samego złoża. Najniższych nakładów kosztowych wymaga złożo K110 (12 955 zł), następnie złożo Norit ROW 0.8 (20 080 zł), Organosorb 10 (20 533 zł). Najwyższych nakładów wymaga złożo Hydroantracyt N (22 078 zł), co spowodowane jest większą ilością przefiltrowanej wody (rys. 1).

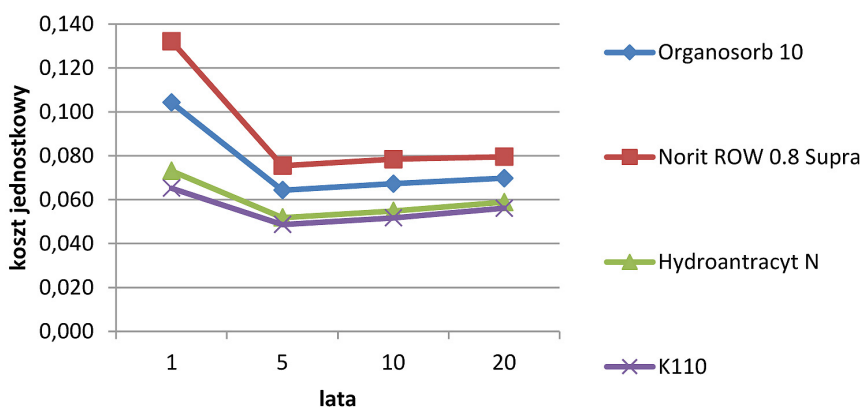
We wszystkich złożach spośród poniesionych kosztów na eksploatację największy udział ma opłata środowiskowa za pobór wody. Czynnikiem ten stanowi od 57 do 80% całkowitych kosztów ponoszonych na eksploatację złóż. Brak kosztów dodatkowych przy złożach węglowych, takich jak zakup urządzeń do napowietrzania czy regeneracji złóż powoduje, że głównym czynnikiem wpływającym na koszt filtracji są opłaty wnoszone na rzecz Skarbu Państwa z tytułu ujmowania wody.

Tabela 5. Jednostkowy koszt uzdatniania wody na złożach węglowych w okresie 10 lat**Table 5.** The unit cost of water treatment deposits of carbon in 10 years

Nazwa złoża	Koszt zakupu złoża [zł]	Koszt opłaty środowiskowej za lata 2014-2023 [zł]	Ilość wody uzdatnionej w ciągu 10 lat [m ³]	Jednostkowy koszt uzdatniania wody [zł/m ³]
Organosorb 10	18 075	24 908	638 660	0,067
Norit ROW 0.8 Supra	21 000	20 756	532 220	0,078
Hydroantracyt N	13 500	33 210	851 550	0,055
K110	6750	20 756	532 220	0,052



Rys. 1. Wysokość kosztów poniesionych na eksploatację złóż węglowych w ciągu 5 lat
 Fig. 1. The costs incurred for the exploitation of carbon deposits in 5 years



Rys. 2. Jednostkowe koszty uzdatniania wody na złożach węglowych
 Fig. 2. The unit cost of water treatment carbon deposits

Na rysunku 2 przedstawiono jednostkowe koszty uzdatniania wody na złożach węglowych we wszystkich latach eksploatacji. Najniższe koszty zanotowano dla okresu pięcioletniego. Związane było to z amortyzacją kosztów zakupu złóż w tym czasie. Natomiast późniejsze wzrosty cen spowodowane są rosnącą opłatą środowiskową za pobór wody, gdyż poza wymianą złóż jest to jedyny czynnik kosztowy zmienny w czasie eksploatacji.

DYSKUSJA

Wszystkie wybrane złoża wymagają wymiany po trzech latach eksploatacji – są płu-kane w takich samych cyklach. Różnią się natomiast pod względem kosztów zakupu oraz prędkości adsorpcji. Te dwa parametry wpływają na różnice kosztów eksploatacji poszczególnych złóż.

Najniższy jednostkowy koszt uzdatniania wody otrzymano stosując węgiel aktywny K110. Złoże te zalecane jest głównie do uzdatniania

wody gruntowej, odchlorowania, usuwania zanieczyszczeń organicznych i dejonizacji oraz usuwania smaku i zapachu wody.

Drugi najniższy wynik kosztowy otrzymano stosując złożo Hydroantracyt N. Antracyt filtrycyjny pozwala na poprawę efektywności filtracji oraz obniżenie zużycia wody płuczącej. Jest przydatny szczególnie do usuwania żelaza i manganu, rozproszonych zawiesin i zmętnienia, usuwania SiO_2 , pestycydów oraz doczyszczania wody po zmiękczeniu lub po szybkiej dekarbonizacji.

Następny rezultat otrzymał węgiel aktywny Organosorb 10. Zastosowanie tego złoża pozwala na usunięcie z wody zanieczyszczeń organicznych, związków chloru i niektórych metali ciężkich oraz innych szkodliwych substancji do ilości śladowych.

Najdroższym spośród ocenianych złóż węglowych jest Norit ROW 0.8 Supra. Wysoka cena może być związana z poddaniem materiału wstępnej obróbce, dzięki czemu ROW 0.8 Supra jest uszlachetnionym węglem aktywnym, o zwiększonej objętości porów i powierzchni właściwej. Duża objętość porów i rozmiar zia-

ren pozwalają na bardzo wydajne polepszanie smaku wody, usuwanie zapachu, chloru, ozonu i mikrozanieczyszczeń, takich jak pestycydy czy rozpuszczone substancje organiczne. Dzięki ulepszonej strukturze granulatu spadek ciśnienia w czasie pracy filtru jest minimalny, co umożliwia dłuższą pracę pomiędzy przerwami na płukanie przeciwwąadowe.

WNIOSKI

1. Koszty eksploatacji złóż adsorpcyjnych zależą głównie od kosztu zakupu adsorbentu i prędkości adsorpcji.
2. Znaczny udział w kosztach eksploatacji złóż węglowych ma opłata środowiskowa za pobór wody, większy niż zakup samego złoża.
3. Najtańszym w eksploatacji złożem jest K110, gdzie dziesięcioletni koszt eksploatacji wyniósł 0,055 zł/m³.
4. Najdroższym w eksploatacji analizowanym złożem jest Norit ROW 0.8 Supra, gdzie koszt eksploatacji dla dziesięciu lat wyniósł 0,078 zł/m³.
5. Stosowanie złóż adsorpcyjnych wpływa na polepszenie smaku i zapachu wody, usunięcie chloru, ozonu i mikrozanieczyszczeń.
6. Przy wyborze złoża adsorpcyjnego należy przeliczyć koszty eksploatacji na przełomie ok. 10 lat, aby otrzymać miarodajne wyniki.

LITERATURA

1. Bansal R.C., Goyal M., 2005. Activated carbon adsorption, CRC Press, Boca Raton, London.
2. Ignatowicz K., 2002. Zastosowanie metod biologiczno-fizycznych do usuwania pestycydów z wody, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 4, 229–240.
3. Kowal A.L., Świdarska-Bróz M., 2009. Oczyszczanie wody. PWN, Warszawa.
4. Krasner W., 1993. Testing biologically active filters for removing aldehydes during ozonation, *JAWWA*.
5. Nawrocki J., Biłozor S., 2000. Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne. PWN, Warszawa, Poznań.
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 października 2008 r. w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska. *Dz. U. z 2008 r.*, nr 196, poz. 1217.
7. Skoczko I., 2009. Próby zastosowania węgla pylistego do unieszkodliwiania pestycydów w ściekach, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 99, 1307–1316.
8. Skoczko I., 2013. Degradacja pestycydów wybranymi metodami, Wydawnictwo PAN Lublin.
9. Zhou H., Smith D.W., 2002. Advanced technologies in water and wastewater treatment, *Journal of Environmental Engineering and Science*, 4, 247–264.
10. www.alamowaterpoland.com, dostęp 22.04.2015.
11. www.cerfiltr.pl, dostęp 22.04.2015.
12. www.wodkaneko.pl, 22.04.2015.
13. www.bwt.pl, dostęp 22.04.2015.
14. www.almars.pl, dostęp 22.04.2015.