

Iwona SKOCZKO • Rafał MIŁASZEWSKI • Ewa SZATYŁOWICZ •
Magdalena HORYSZ • Łukasz MALINOWSKI • Jarosław MARCINIAK

PORÓWNANIE EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ DWÓCH ZŁÓŻ WIELOFUNKCYJNYCH DO UZDATNIANIA WODY

Iwona Skoczko, dr hab. inż. – Politechnika Białostocka

Rafał Miłaszewski, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Kardynała Stefana
Wyszyńskiego w Warszawie

Ewa Szatyłowicz, mgr inż. – Politechnika Białostocka

Magdalena Horysz, inż. – Politechnika Białostocka

Łukasz Malinowski, inż. – Politechnika Białostocka

Jarosław Marciniak, mgr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

e-mail: i.skoczko@pb.edu.pl

COMPARISON OF ECONOMIC EFFICIENCY OF TWO MULTIFUNCTIONAL BEDS FOR WATER TREATMENT

SUMMARY: A properly selected filter material can eliminate the costs associated with the use of chemical reagents needed for the regeneration of beds, it can also eliminate the process of aeration of water during the process, extend the duration of the filtration cycle, as well as time beds technological prowess. The objective of the article was to compare the economic efficiency of the two deposits multifunctional: Crystal-Right 100 and Ecomix A, used for water treatment. Exploitation of multifunctional beds generates a lower unit cost of treatment obtained by using bed Ecomix A.

KEYWORDS: multifunctional beds, water treatment, economic efficiency, operating costs

Wstęp

Głównym celem gospodarki wodnej jest zaspokojenie potrzeb wodnych, zarówno ilościowych, jak i jakościowych wszystkich konsumentów wody. Prawidłowe gospodarowanie wodą łączy jej ochronę przed zanieczyszczeniami z zapewnieniem wymaganych dostaw przy możliwie jak największej minimalizacji kosztów. Czynnikiem znacznie wpływającym na koszty inwestycyjne budowy stacji uzdatniania wody jest sposób jej poboru oraz wielkość i rodzaj urządzeń technologicznych. Z tego względu uzasadnionym działaniem jest dobranie ciągu technologicznego uzdatniania wody w taki sposób, aby powodować jak najmniejszą ingerencję w skład oczyszczanej wody zapewniając w najprostszy możliwy sposób spełnienie wymagań stawianych wodzie do picia i na cele bytowo-gospodarcze¹. Podstawowym i najczęściej stosowanym procesem w uzdatnianiu wody jest filtracja. Proces ten zapewnia usunięcie wielu powszechnie występujących w wodach zanieczyszczeń². W tym celu stosuje się najczęściej złoża wypełnione ziarnami różnego rodzaju minerałów. Oprócz tradycyjnych materiałów filtracyjnych, takich jak piasek kwarcowy, współcześnie do budowy filtrów stosowane są złoża zbudowane z różnorodnych materiałów naturalnych bądź sztucznych, często połączonych w jednej kolumnie jako złoża wielowarstwowe³. Dobierając odpowiedni dla danej wody materiał filtracyjny możliwe jest obniżenie wielu kosztów związanych z zakupem złóż i ich prawidłową eksploatacją. Odpowiednio dobrany materiał filtracyjny może wyeliminować koszty związane ze stosowaniem odczynników chemicznych potrzebnych do regeneracji złóż, może także wyeliminować proces napowietrzania wody z ciągu technologicznego, wydłużyć czas trwania cyklu filtracyjnego, a także czas sprawności technologicznej złoża.

Na potrzeby niniejszej pracy założono, że wszystkie stosowane złoża wielofunkcyjne oczyszczają uzdatnianą wodę do wymaganych parametrów przy zastosowaniu jednakowej dla każdej masy pojedynczej kolumny. Celem pracy było porównanie efektywności ekonomicznej dwóch złóż wielofunkcyjnych: Crystal-Right 100 i Ecomix A, używanych do uzdatniania wody. W analizie uwzględniono zakup złoża, zakup urządzeń dodatkowych nie-

¹ I. Skoczko, R. Miłaszewski, A. Kisło, S. Zadrożna, *Zależność kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach od jej wydajności*, „Ekonomia i Środowisko” 2015 nr 3(54), s. 137.

² A.L. Kowal, M. Świdorska-Bróz, *Oczyszczanie wody*, Warszawa-Wrocław 2009.

³ J. Kaleta, D. Papciak, A. Puzskarewicz, *Naturalne i modyfikowane minerały w uzdatnianiu wód podziemnych*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2009 nr 25, s. 51-63.

zbędnych do pracy złoża, koszty reagentów oraz opłatę środowiskową za pobór wody.

Charakterystyka złóż wielofunkcyjnych

Złoże Crystal-Right 100 służy do uzdatniania wód gruntowych, w których zostało przekroczone stężenie żelaza, manganu, twardości, amoniaku, a także posiadających nieznaczne ilości siarkowodoru. Dodatkowo na drodze adsorpcji zredukowana jest zawartość chloru. Wypełnienie złoża tworzą kryształki zeolitowe. Są to naturalne krzemiany, specjalnie przygotowane, aby móc tworzyć wypełnienie złóż filtracyjnych. Złoże nieznacznie podnosi odczyn uzdatnianej wody, co w przypadku wód kwaśnych eliminuje ich właściwości korozyjne. Kryształowa struktura złoża umożliwia szybką i skuteczną filtrację, a nagromadzone zanieczyszczenia są łatwe do usunięcia⁴. Złoże Crystal-Right jest kationitem pracującym w cyklu sodowym. Płukanie złoża zachodzi przeciwnie. Dodatkowo złoże wymaga regenerowania roztworem chlorku sodu, podczas którego następuje przywrócenie właściwości jonowymiennych i oczyszczenie złoża⁵.

Natomiast złoże Ecomix A jest to wielofunkcyjne złoże składające się z pięciu materiałów filtracyjnych o funkcjonalności wymiany jonowej oraz adsorpcji. Wszystkie komponenty są wymieszane i uporządkowują się w oddzielne warstwy w momencie pierwszego płukania przeciwnie. Zastosowanie takiego układu eliminuje konieczność stosowania kilku osobnych urządzeń i zapewnia wysoką wydajność oczyszczania przy zastosowaniu jednej kolumny. Wahania odczynu nie wpływają na wydajność złoża, także zawartość substancji organicznych, chloru czy siarkowodoru nie wpływa na pracę złoża. Zastosowanie złoża Ecomix A pozwala na oczyszczenie wody z nadmiernych zawartości żelaza, manganu, amoniaku i magnezu. Skutecznie usuwa twardość oraz w pewnym stopniu zanieczyszczenia organiczne. Pierwszą od góry warstwę stanowi obojętny materiał filtracyjny usuwający żelazo i korygujący rozkład warstw w czasie płukania wstecznego. Drugą warstwą jest złoże katalityczne do usuwania żelaza i manganu, a trzecią węgiel aktywny do usuwania naturalnych zanieczyszczeń organicznych. Kolejną, najobszerniejszą w całym złożu warstwę tworzy żywica jonowymienna zmiękczająca wodę. Na samym dole kolumny znajduje się podsypka z piasku kwarcowego⁶. Właściwości obu analizowanych złóż wielofunkcyjnych przedstawiono w tabeli 1.

4 www.wigo.pl [07-02-2016].

5 www.oresmiesz.pl [07-02-2016].

6 www.prowater.com.pl [07-02-2016].

Tabela 1 Wybrane właściwości złoża Ecomix A i Crystal Right 100

Parametr	Ecomix A	Crystal-Right 100
Gęstość nasypowa	0,8 kg/l	0,8 kg/l 15-25 m/h 25-35 m/h 10% NaCl, 100 g/l 3-5 m/h 70 cm 50% 4-40°C 5,7-14 pH Średnio 5 lat 39 zł/l
Temperatura pracy	4-40°C	4-40°C
Wymagany odczyn	5-10 pH	5,7-14 pH
Regeneracja	10% NaCl, 100 g/l	10% NaCl, 100 g/l
Przepływ podczas pracy	20-25 m/h	15-25 m/h
Przepływ podczas płukania wstecznego	13-15 m/h	25-35 m/h
Przepływ podczas regeneracji	3-5 m/h	3-5 m/h
Minimalna wysokość złoża	500 mm	700 mm
Średnia żywotność złoża	5 lat	5 lat
Cena zakupu	49 zł/l	29 zł/l

Źródło: www.prowater.com.pl [07-02-2016].

Metodyka badawcza

W zestawieniu kosztowym nie uwzględniono kosztów zakupu energii elektrycznej oraz eksploatacji pomp, gdyż przyjmuje się, że filtracja jest jednym z wielu procesów prowadzonych w stacji uzdatniania wody i nie wymaga odrębnego zasilania. W analizie uwzględniono jedynie koszty ściśle związane z zastosowanym procesem filtracji, do których należą:

- koszt zakupu złóż filtracyjnych;
- opłata środowiskowa za pobór wody;
- koszt odczynników chemicznych do regeneracji złóż;
- koszt pompy dozującej reagenty do regeneracji.

Metodyka badawcza obejmowała analizę: kosztów zakupu, wysokości opłat środowiskowych, jednostkowego koszt oczyszczania wody na danym złożu wielofunkcyjnym. Wykonano obliczenia w 5-, 10- oraz 20-letnim okresie eksploatacji wybranych złóż, gdzie uwzględniono: koszt zakupu złoża, koszt opłaty środowiskowej w latach 2015-2019, 2015-2024 oraz 2015-2034

w ilość wody uzdatnionej w ciągu 5, 10 i 20 lat oraz jednostkowy koszt uzdatniania wody. Ujmowanie wód, poza kosztami zakupu urządzeń i ich eksploatacji wymaga ponoszenia opłat za korzystanie ze środowiska⁷. Koszty opłaty środowiskowej to wartość strat w środowisku i ekosystemach, które są powodowane korzystaniem z wód oraz strat ponoszonych przez podmioty korzystające ze środowiska, które zostaje naruszone poprzez korzystanie z niego⁸. W polskim prawie określono, iż opłaty środowiskowe należy wносить jeżeli podmiot wykorzystuje w swojej działalności wodę podziemną lub powierzchniową. Kwota jaką będzie trzeba zapłacić w związku z poborem takiej wody zależy nie tylko od ilości jej zużycia, ale także od jej przeznaczenia. W wykonanych analizach założono, że ujmowana będzie woda podziemna przeznaczona do spożycia przez ludzi oraz na cele bytowo-gospodarcze w ilości, na jaką pozwala eksploatacja wybranych złóż wielofunkcyjnych. Do obliczenia wysokości opłaty środowiskowej należy pomnożyć ilość pobranej wody przez stawkę jednostkową oraz współczynnik różnicujący, który jest uzależniony od sposobu uzdatniania wody. W przypadku wód podziemnych stosuje się wzór (1)⁹:

$$\text{Opłata} = V \cdot S \cdot w \quad (1)$$

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 2015. Jednostkowa stawka opłaty (S) za pobór wody podziemnej przeznaczonej do spożycia lub na cele socjalno-bytowe na rok 2015 wynosi 0,068 zł/m³. Dla kolejnych lat przyjmuje się ilość uzdatnianej wody wynikającą z obciążenia kolumn, jednak wartość opłaty środowiskowej będzie ulegać zmianom ze względu na coroczny wzrost jednostkowej stawki opłaty za pobór wody. Prognozowano wzrost opłaty za pobór wody jak i cenę ponownego zakupu. Wartość tego czynnika ustalono na podstawie (tabela 2) średniej inflacji policzonej z rzeczywistych wartości jakie miały miejsce w krajach założycielskich (kraje rozwinięte gospodarczo) Unii Europejskiej w latach 2000-2015. Przyjęto wzrost cen równy 1,65%.

⁷ Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 5 czerwca 2015 r. w sprawie wzoru wniosku w sprawie kaucji gwarancyjnych (Dz.U. poz. 815)

⁸ R. Miłaszewski, *Metody określania kosztów środowiskowych i zasobowych spowodowanych użytkowaniem wód*, „Rocznik Ochrona Środowiska” 2009 t. 11, s. 339-353.

⁹ I. Skoczko, M. Horysz, E. Szatyłowicz, Ł. Malinowski, *Analiza ekonomiczna wybranych złóż adsorpcyjnych stosowanych do oczyszczania wody*, „Inżynieria Ekologiczna” 2016 nr 46, s. 88-93.

Tabela 2 Prognozowana wysokość stawek opłat za pobór wody w latach 2016-2034

Rok	Wysokość stawki (S)	Rok	Wysokość stawki (S)
2011	0,060	2023	0,076
2012	0,062	2024	0,077
2013	0,065	2025	0,078
2014	0,067	2026	0,080
2015	0,068	2027	0,081
2016	0,068	2028	0,082
2017	0,069	2029	0,084
2018	0,070	2030	0,085
2019	0,071	2031	0,086
2020	0,072	2032	0,088
2021	0,074	2033	0,089
2022	0,075	2034	0,090

Koszty zakupu złożeń oraz urządzeń i reagentów potrzebnych do ich eksploatacji przedstawiono w tabeli 3. Dobierając określone urządzenia i parametry eksploatacji kierowano się zaleceniami producentów. Podane ceny są cenami uzyskanymi od producentów i dystrybutorów analizowanych materiałów i są cenami brutto. W analizie: 5-, 10- i 20-letniej przyjęto ceny ponownego zakupu złoża jak i zakup reagentów do regeneracji z uwzględnieniem stałego wzrostu równego 1,65%.

Tabela 3 Koszty zakupu złożeń wielofunkcyjnych i dodatkowych urządzeń

Rodzaj złoża	Cena jednostkowa [zł/l]	Objętość złoża [dm ³]	Koszt zakupu złoża [zł]	Koszt dodatkowych urządzeń	Koszt reagentów
Crystal-Right 100	39,00	375	14625,00	Pompa dozująca	Sól pastylkowana 29 zł/25 kg (1,16 zł/kg)
Ecomix A	49,00	375	18375,00	Pompa dozująca	Sól pastylkowana 29 zł/25 kg (1,16 zł/kg)

Opisane powyżej złoża multifunkcyjne należą do najdroższych z dostępnych na rynku złożeń i nie mają częstego zastosowania w instalacjach przemysłowych. Złoże Crystal-Right kosztuje 14625 zł za 375 litrów. Za tą samą objętość złoża Ecomix A trzeba zapłacić 3750 zł więcej. Wyższa cena zakupu najprawdopodobniej wiąże się z wykorzystaniem pięciu różnych materiałów filtracyjnych wchodzących w skład złoża, natomiast złoże CR 100 zbudowane

jest z krysztalów zeolitowych o różnej wielkości. Oba złoża nie różnią się pod względem kosztów dodatkowych, gdyż wymagają stosowania tych samych urządzeń dodatkowych (pompa dozująca) i jednakowych dawek reagentów.

Tabela 4 Obliczenia do wysokości opłaty środowiskowej dla złóż wielofunkcyjnych

Nazwa złoża	Prędkość filtracji [m ³ /h]	Ilość wody przefiltrowanej ciągu doby [m ³]	Ilość wody uzdatnionej w ciągu roku (V) [m ³]	Jednostkowa stawka opłaty za pobór wody w 2015 r. (S) [zł/m ³]	Wartość współczynnika różnicującego (w)	Wysokość opłaty środowiskowej za pobór wody w 2015 r. [zł]
Crystal-Right 100	10,00	223,3	81505	0,068	0,5	2771
Ecomix A	11,25	251,2	91693			3118

Tabela 5 Prognozowane wysokości opłat środowiskowych dla złóż wielofunkcyjnych [zł]

Nazwa złoża	Rok									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Crystal-Right 100	2771	2771	2816	2861	2906	2953	3000	3048	3097	3146
Ecomix A	3118	3118	3167	3218	3270	3322	3375	3429	3484	3540
Nazwa złoża	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Crystal-Right 100	3197	3248	3300	3353	3406	3461	3516	3572	3630	3688
Ecomix A	3596	3654	3712	3772	3832	3893	3956	4019	4083	4149

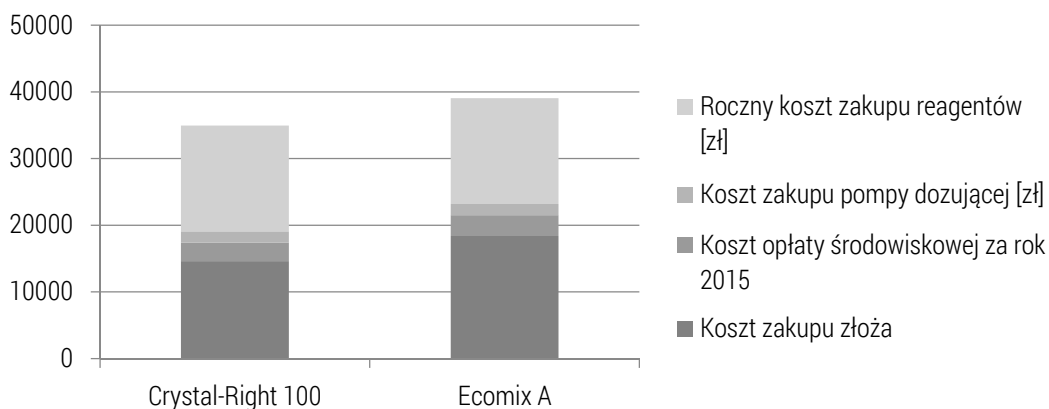
Żywotność wybranych do analizy złóż jest ściśle zależna od jakości uzdatnionej wody, jednak w obu przypadkach średnia żywotność wynosi 5 lat, dlatego taką też wartość przyjęto do analizy. Złoża Crystal-Right 100 oraz Ecomix A regenerowane są roztworem chlorku sodu w dawce 100 g/l.

Analiza roczna

W rocznym okresie eksploatacji niższy jednostkowy koszt uzdatniania wody uzyskano stosując złożo Ecomix A i było to 0,425 zł/m³. Drugie złożo okazało się nieznacznie droższe (0,428 zł/m³). Wyniki analizy rocznej przedstawiono w tabeli 6 i na rysunku 1.

Tabela 6 Jednostkowy koszt uzdatniania wody na złożach multifunkcyjnych – rok 2015

Nazwa złoża	Koszt zakupu złoża [zł]	Koszt opłaty środowiskowej za rok 2015 [zł]	Koszt zakupu pompy dozującej [zł]	Roczny koszt zakupu reagentów [zł]	Ilość wody uzdatnionej w ciągu roku [m ³]	Jednostkowy koszt uzdatniania wody [zł/m ³]
Crystal-Right 100	14625,00	2771	1684,00	15877,50	81505	0,428
Ecomix A	18375,00	3118	1684,00	15877,50	91693	0,425

**Rysunek 1** Wysokość kosztów poniesionych na eksploatację złożów wielofunkcyjnych w ciągu roku

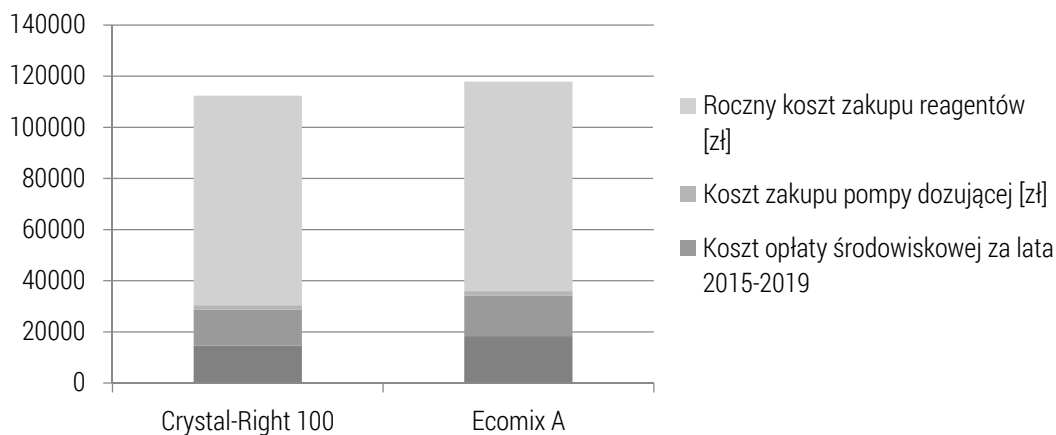
Pod względem wysokości kosztów ponoszonych na eksploatację obu złożów w ciągu roku niższego nakładu wymaga złożo Crystal-Right 100. Wartość ta wynosi dokładnie 34 957 zł. Złożo Ecomix A, stosując które otrzymano niższe jednostkowe koszty uzdatniania wody wymaga wyższych nakładów, czyli 39 054 zł za zakup złoża, pompy dozującej i soli tabletkowanej oraz wniesienia opłaty środowiskowej za roczny pobór wody.

Analiza pięcioletnia

Porównując oba złoża jonowymiennie w pięcioletnim okresie eksploatacji ponownie tańsze okazało się złożo Ecomix A. Mimo wyższej ceny zakupu stosując te złożo otrzymano o 0,019 zł/m³ (czyli 0,257 zł/m³) niższy jednostkowy koszt uzdatniania wody niż w przypadku złoża CR-100 (0,276 zł/m³).

Tabela 7 Jednostkowy koszt uzdatniania wody na analizowanych złożach w okresie 5 lat

Nazwa złoża	Koszt zakupu złoża	Koszt opłaty środowiskowej za lata 2015-2019	Koszt zakupu pompy dozującej	Roczny koszt zakupu reagentów	Ilość wody uzdatnionej w ciągu pięciu lat [m ³]	Jednostkowy koszt uzdatniania wody
	[zł]	[zł]	[zł]	[zł]		[zł/m ³]
Crystal-Right 100	14625	14124	1684	81968,9	407522,5	0,276
Ecomix A	18375	15891	1684	81968,9	458462,8	0,257



Rysunek 2 Wysokość kosztów poniesionych na eksploatację złożów multifunkcyjnych w latach 2015-2019

Eksploatacji złożów jonowymiennych przez 5 lat wymaga ponoszenia następujących wielkości kosztów:

- Crystal-Right 100 – 112 402 zł;
- Ecomix A – 117 919 zł.

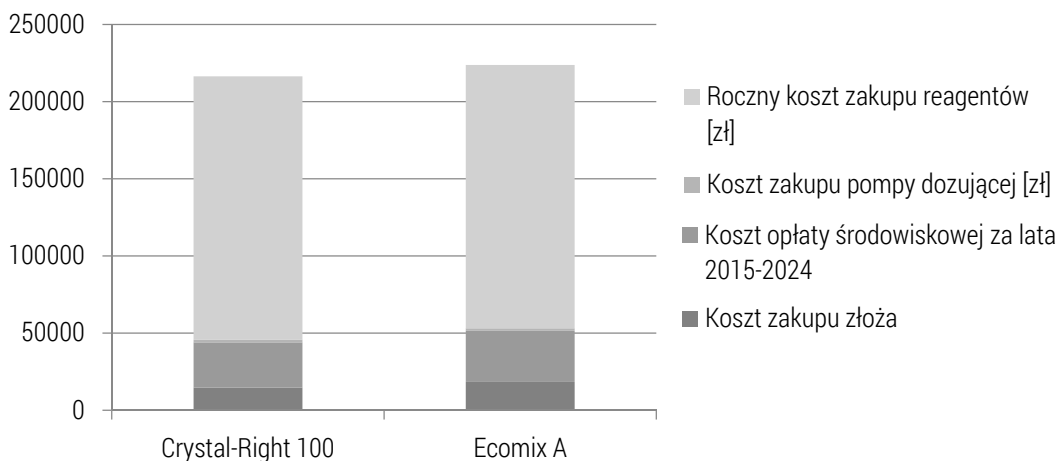
Jak widać na powyższym wykresie (rysunek 2) w tym czasie największy udział wśród wszystkich kosztów ma zakup reagentów do płukania złoża, stanowi to w obu przypadkach około 70% całkowitych kosztów. Natomiast koszt zakupu samego urządzenia do dawkowania reagentu stanowi jedynie 1,5% kosztów poniesionych na pięcioletnią eksploatację złożów. Koszty zakupu złożów i opłaty środowiskowej kształtują się na podobnym poziomie i stanowią po około 13-15% całkowitych kosztów.

Analiza dziesięcioletnia

W dziesięcioletnim okresie eksploatacji (tabela 8, rysunek 3) niższy jednostkowy koszt uzdatniania wody otrzymano stosując złoże Ecomix A i było to 0,267 zł/m³. Dla złoża CR100 koszt ten wyniósł 0,286 zł/m³. Poniższy wykres przedstawia koszty poniesione na eksploatację złożeń. Dziesięć lat eksploatacji złoża CR100 wymaga poniesienia kosztów w wysokości 233 257 zł, natomiast w przypadku złoża Ecomix A jest to 245 005 zł.

Tabela 8 Jednostkowy koszt uzdatniania wody na złożach wielofunkcyjnych – 10 lat

Nazwa złoża	Koszt zakupu złoża	Koszt opłaty środowiskowej za lata 2015-2024	Koszt zakupu pompy dozującej [zł]	Roczny koszt zakupu reagentów [zł]	Ilość wody uzdatnionej w ciągu dziesięciu lat [m ³]	Jednostkowy koszt uzdatniania wody [zł/m ³]
	[zł]	[zł]				
Crystal-Right 100	31496	29369	1684	170708,5	815045	0,286
Ecomix A	39572	33041	1684	170708,5	916926	0,267



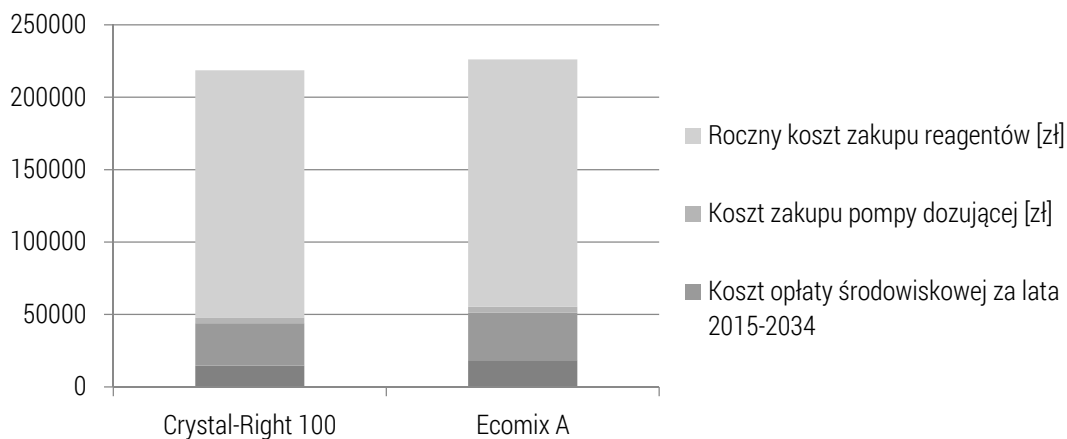
Rysunek 3 Wysokość kosztów poniesionych na eksploatację złożeń multifunkcyjnych w latach 2015-2024

Analiza dwudziestoletnia

Podobnie jak w poprzednich analizach niższy jednostkowy koszt uzdatniania wody uzyskano stosując złożę Ecomix A i dla analizy dwudziestoletniej było to 0,291 zł/m³. Jednostkowy koszt uzdatniania wody na złożu CR-100 wyniósł 0,312 zł/m³. W porównaniu do poprzedniej analizy wartości wzrosły odpowiednio o 0,024 i 0,026 zł/m³ co jest spowodowane corocznym wzrostem kosztów opłat środowiskowych oraz cen zakupu złoża, zakupu reagentów oraz pompy dozującej.

Tabela 9 Jednostkowy koszt uzdatniania wody na złożach multifunkcyjnych w latach 2015-2034

Nazwa złoża	Koszt zakupu złoża [zł]	Koszt opłaty środowiskowej za lata 2015-2034	Koszt zakupu pompy dozującej [zł]	Koszt zakupu reagentów [zł]	Ilość wody uzdatnionej w okresie 20 lat [m ³]	Jednostkowy koszt uzdatniania wody
		[zł]				[zł/m ³]
Crystal-Right 100	69534	63739	3961	370783,2	1630090	0,312
Ecomix A	87363	71707	3961	370783,2	1833851	0,291



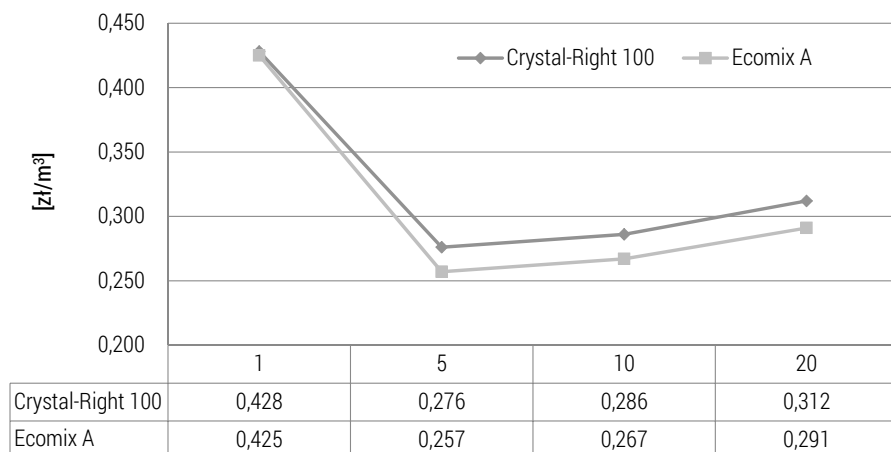
Rysunek 4 Wysokość kosztów poniesionych na eksploatację złożów wielofunkcyjnych w latach 2015-2034

Koszty eksploatacji złożów jonowymiennych w ciągu najdłuższego okresu analizy sięgają 452 815 zł w przypadku złoża Crystal-Right 100 oraz 476 987 zł stosując złożę Ecomix A. Dwudziestoletni okres eksploatacji filtrów wymaga ponownego zakupu pompy dozującej, jednak koszt ten (3368 zł) nie wpły-

wa znacząco na koszt całkowity oraz jednostkowy koszt uzdatniania wody. Największym czynnikiem kosztowym jest zakup reagentów do płukania złoża (317 550 zł).

Podsumowanie

Narzędziami analizy efektywności ekonomicznej w ochronie środowiska są tabele, wykresy i modele matematyczne. Do ich budowy powinien służyć szeroki zbiór zgromadzonych danych rzeczywistych bądź prognozowanych. Na ich podstawie buduje się zależności pomiędzy jednostkowymi nakładami inwestycyjnymi lub jednostkowymi kosztami eksploatacji urządzeń do uzdatniania wody a ich wydajnością¹⁰.



Rysunek 5 Jednostkowy koszt uzdatniania wody na złożach wielofunkcyjnych

W pracy analizowano dwa złoża jonowymienne – Crystal-Right 100 oraz Ecomix A. Oba filtry wypełniono tą samą objętością złoża, wyposażono w taką samą pompę dozującą oraz podczas eksploatacji regenerację prowadzi się w ten sam sposób. Żywotność obu złoża wynosi 5 lat. Na rysunku 5 wykreślono zmiany kosztów prowadzenia procesu na złożach wielofunkcyjnych w różnych okresach. Jak widać, niższe koszty otrzymano stosując złożo Ecomix A. Podobnie jak dla innych złoża najwyższe koszty otrzymano w analizie rocznej, następnie dla analizy pięcioletniej koszty uległy znacznemu obniżeniu.

¹⁰ A. Augusewicz i in., *Ekonomiczne aspekty ochrony środowiska*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2012 nr 3, s. 17-23.

niu, później stosunkowo wzrastały ze względu na coroczne powiększenie kosztów ponoszonych na opłatę środowiskową za pobór wody.

Mimo wyższej ceny zakupu złoża Ecomix A otrzymano niższe jednostkowe koszty uzdatniania wody we wszystkich latach analizy, dzięki wyższej prędkości filtracji, co proporcjonalnie wpływa na ilość przefiltrowanej wody. W analizie rocznej jednostkowy koszt procesu z użyciem złoża Ecomix A wyniósł 0,425 zł/m³, a dla złoża CR100 było to 0,428 zł/m³. W kolejnych latach różnice kosztów pomiędzy materiałami powiększały się. W pięciu latach eksploatacji jednostkowy koszt filtracji na złożu Ecomix A wyniósł 0,257 zł/m³, zaś dla złoża CR100 było to 0,276 zł/m³. W analizie dziesięcioletniej dla obu złożów jednostkowy koszt uzdatniania wody wzrósł o 0,010 zł/m³. Analiza dwudziestoletnia dała następujące wyniki: 0,291 zł/m³ dla filtracji na złożu Ecomix A oraz 0,312 zł/m³ dla złoża Crystal-Right 100. Dla porównania jednostkowy koszt eksploatacji złoża adsorpcyjnego Norit ROW 0.8 Supra w skali roku wynosi 0,132 zł/m³. W pięciu latach eksploatacji złoża Supra otrzymano jednostkowy koszt uzdatniania wody w wysokości 0,075 zł/m³, w dziesięciu – 0,078 zł/m³. Złoża adsorpcyjne są tańsze w eksploatacji, ponieważ nie wymagają zakupu pompy dozującej ani czynnika do regeneracji¹¹.

Złoże Crystal-Right 100 służy do uzdatniania wód, w których przekroczone zostało stężenie żelaza, manganu, twardości, amoniaku, a także posiadających nieznaczne ilości siarkowodoru. Dodatkowo na drodze adsorpcji zredukowana jest zawartość chloru. Ze względu na swój zasadowy charakter, oprócz usuwania niechcianych substancji złoża te jednocześnie nieznacznie podnosi odczyn uzdatnianej wody, co w przypadku wód kwaśnych eliminuje ich właściwości korozyjne. Dla prawidłowej pracy złoża wymagane jest minimalne pH 4,5 oraz twardość na poziomie 51 mg/l CaCO₃ lub 2,9°N. W przypadku prawidłowej eksploatacji złoża, jest ono w stanie pracować do 10 lat, jednak w przypadku wód zawierających mniej niż 80 TDS, żywotność złoża może być mniejsza niż 2 lata. Natomiast złożo Ecomix A jest wielofunkcyjnym wypełnieniem składającym się z pięciu materiałów filtracyjnych o funkcjonalności wymiany jonowej oraz adsorpcji. Wahanie odczynu nie wpływają na wydajność złoża, także zawartość substancji organicznych, chloru czy siarkowodoru nie wpływa na pracę złoża. Zastosowanie złoża Ecomix pozwala na oczyszczenie wody z nadmiernych zawartości żelaza, manganu, amoniaku i magnezu. Skutecznie usuwa twardość oraz w pewnym stopniu zanieczyszczenia organiczne.

Na podstawie przeprowadzonych w pracy analiz możliwe było sformułowanie następujących wniosków:

¹¹ I. Skoczko, M. Horysz, E. Szatyłowicz, Ł. Malinowski, op. cit.

1. Wybierając złożę przeznaczone do wypełnienia filtrów należy kierować się nie tylko niskimi kosztami, ale także zdolnościami usuwania i parametrami pracy uwzględniając skład fizykochemiczny uzdatnianej wody.
2. Eksploatując złoża wielofunkcyjne niższy jednostkowy koszt uzdatniania otrzymano stosując złożę Ecomix A.
3. Mimo wyższej ceny zakupu złożę Ecomix A pozwala na prowadzenie filtracji z większą prędkością, co pozwala na przefiltrowanie większej ilości wody pośrednio obniżając jednostkowy koszt procesu.
4. Złożę Crystal-Right 100 zapewnia usuwanie tych samych zanieczyszczeń jednocześnie nieznacznie podnosząc odczyn uzdatnianej wody.

Wkład autorów w powstanie artykułu

dr hab. inż. Iwona Skoczko – zainicjowanie prac, wkład konceptualny, koordynacja pisania artykułu oraz wybór literatury

prof. dr hab. inż. Rafał Miłaszewski – wkład merytoryczny

mgr inż. Ewa Szatyłowicz – opracowanie edytorskie i redakcja tekstu, opracowanie części wynikowo-obliczeniowej artykułu

inż. Magdalena Horysz – opracowanie części teoretycznej artykułu

inż. Łukasz Malinowski – opracowanie części teoretycznej artykułu

mgr inż. Jarosław Marciniak – zebranie danych

Literatura

Augusewicz A. i in., *Ekonomiczne aspekty ochrony środowiska*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2012 nr 3

Kaleta J., Papciak D., Puskarewicz A., *Naturalne i modyfikowane minerały w uzdatnianiu wód podziemnych*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2009 nr 25

Kowal A. L., Świdarska-Bróz M., *Oczyszczanie wody*, Warszawa-Wrocław 2009

Miłaszewski R., *Metody określania kosztów środowiskowych i zasobowych spowodowanych użytkowaniem wód*, „Rocznik Ochrona Środowiska” 2009 t. 11

Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 5 czerwca 2015 r. w sprawie wzoru wniosku w sprawie kaucji gwarancyjnej (Dz.U. poz. 815)

Skoczko I., Miłaszewski R., Kisło A., Zadrożna S., *Zależność kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach od jej wydajności*, „Ekonomia i Środowisko” 2015 nr 3(54)

Skoczko I., Horysz M., Szatyłowicz E., Malinowski Ł., *Analiza ekonomiczna wybranych złóż adsorpcyjnych stosowanych do oczyszczania wody*, „Inżynieria Ekologiczna” 2016 nr 46

www.oresmiesz.pl

www.prowater.com.pl

www.wigo.pl