

BADANIA LABORATORYJNE PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH WODY OCZYSZCZANEJ W HYDROCYKLONIE MEMBRANOWYM

LABORATORY RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS PURIFIED WATER IN A MEMBRANE HYDROCYCLONE

Adam Marek, Justyna Sobolczyk - „Poltegor – Instytut” IGO, Wrocław

Prezentowana praca zawiera pionierskie wyniki badań sprawności hydrocyklonu membranowego z wbudowaną strukturą porowatą według Poltegor - Instytut. Przedstawiono koncepcję stanowiska badawczego oraz ocenę jego skuteczności działania w kierunku zmniejszania zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych wody ze studni badawczej zlokalizowanej na terenie „Poltegor - Instytut”. Badania przeprowadzono dwuwymiarowo, pierwsze z nich zawierały ocenę działania samej struktury porowatej, natomiast drugie obejmowały dodatkowo naniesienie pylastych utworów geologicznych na powierzchnię filtracyjną. Wyniki interpretowano w oparciu o Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61 poz. 417), z późniejszymi zmianami z dnia 20 kwietnia 2010 r. [9].

Słowa kluczowe: badania laboratoryjne wody

The present work contains the results of a pioneering efficiency hydrocyclone with built-in membrane pore structure by “Poltegor- Institute”. The concept of bench and an evaluation of its effectiveness and efforts to reduce chemical contaminants and microbiological water from wells located in the area of research, „Poltegor- Institute”. The study was conducted two-dimensional, the first of which included evaluation of the performance of the porous structure itself, while the second included additional geological formations deposited silt. The results were interpreted based on the Regulation of the Minister of Health on 29 March 2007. On the quality of water intended for human consumption (Dz. U. No. 61 item. 417), as amended on 20 April 2010 [9].

Keywords: laboratory tests of water

Wprowadzenie

Postępujące zanieczyszczenie środowiska przez przemysł, rolnictwo, brak kanalizacji w niektórych lokalizacjach, powoduje zanieczyszczenie wód i pogorszenie jej jakości, znacznie ograniczając jej zasoby [2].

W literaturze spotykane są różne metody oczyszczania wody, wśród których filtracja jest najczęściej stosowanym sposobem ponieważ usuwa większość zanieczyszczeń zarówno z wód powierzchniowych jak i podziemnych. W procesie tym cząsteczki są utwierdzane do materiału filtracyjnego, a te wcześniej zatrzymane służą jako dodatkowe miejsce (powierzchnia) usuwania zanieczyszczeń [4]. Ważnym aspektem procesu filtracji wody jest jej prędkość, której wahania mogą gwałtownie i ostatecznie zmniejszyć skuteczność filtracji przez zatrzymanie cząstek w mediach filtracyjnych [8]. Najczęściej stosowane techniki filtracji obejmują koagulację, szybką filtrację (pośpieszną), gdzie sedymentacja jest pominięta. Wyżej wspomniane techniki zyskały popularność dzięki swej efektywności oraz możliwości ich zastosowania do szerokiego wachlarza zanieczyszczeń [5, 4, 1, 3]. Bardziej wyspecjalizowaną formą tradycyjnej filtracji jest filtracja membranowa, jako substytut dla metod konwencjonalnych [11].

Zagadnienie wpływu właściwości utworów geologicznych występujących w kopalniach odkrywkowych na zmiany jakości

wody są powszechnie znane. Jednak dotychczas w niewielkim stopniu surowce skalne były wykorzystywane do poprawy składu jakości wód. Ograniczenia ich wykorzystania wynikają z konieczności przeprowadzenia szeregu badań chemicznych i mikrobiologicznych. Analizy krajowego rynku materiałów filtracyjno - sorpcyjnych wynika, że istnieją produkty mineralne, naturalne lub przeobrażone termicznie wykorzystywane do procesów filtracyjnych oczyszczania wód [10]. Jednak kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego i surowców skalnych stanowią dużo większe źródło do pozyskiwania naturalnych utworów geologicznych.

Wśród najczęstszych zanieczyszczeń wody są skażenia biologiczne, chemiczne w tym organiczne i nieorganiczne jak również (w ostatnich latach) medykamenty, hormony i ich metabolity [2]. Zanieczyszczenia biologiczne, głównie mikrobiologiczne, obejmują nie tylko pojedyncze komórki mikroorganizmów, lecz także ich skupiska wraz z wydzieliną EPS (Extracellular Polymeric Substances), co nazywane jest biofilmem. Biofilm tworzony jest na granicy środowisk wodno-powierzchnia. Przyczynia się on w dużym stopniu do zakłócenia systemu oczyszczania i dystrybucji wody, a także powoduje zagrożenia dla zdrowia publicznego. Warunkiem i przyczyną funkcjonowania pojedynczych komórek jak również biofilmów jest obecność skażeń chemicznych i kumulowanie czynników biodegradowalnych, które stanowią źródło węgla i składników

odżywczych, wykorzystywanych przez drobnoustroje [4].

Poszukiwanie zatem nowych metod uzdatniania wód w celu poprawy jej jakości jest wysoce uzasadnione, tym bardziej, że według Światowej Organizacji Zdrowia - WHO „Dostawcy wody do picia są zawsze odpowiedzialni za jakość i bezpieczeństwo wody, którą produkują” [6].

Częstym problemem ujęć jest wstępowanie jonów żelaza i manganu, na niskim stopniu utlenienia. Obecność tych związków jest przyczyną pogorszenia właściwości organoleptycznych wody oraz wytrącania się osadów w rurociągach i armaturze. Metody usuwania manganu, podobnie jak żelaza, polegają głównie na jego utlenieniu i wytrąceniu w postaci osadu. Możliwe jest to w procesach filtracyjnych na nowatorskim rozwiązaniu tj. hydrocyklonie z zastosowaniem złóż filtracyjno-sorpcyjnych, co wraz z eliminowaniem patogennych drobnoustrojów było przedmiotem pracy.

Metodyka badań

Stanowisko badawcze

Hydrodynamiczny moduł filtracyjny zbudowany jest z okładziny filtrowej osadzonej w obudowie z pleksi. Sposób uzdatniania wód polega na tym, że obie strony umieszczonego w obudowie filtra, o porowatej strukturze, wypełnia się zadaniem medium, przy czym dodatkowo przestrzeń po jednej stronie filtra wypełnia się dodatkowo utworami geologicznymi. Następnie po obu stronach filtra wyrównuje się ciśnienie a po stronie filtra wypełnionej utworami geologicznymi wytwarzają się zawirowania hydrocyklonu. Kolejno w przestrzeni po stronie filtra niewypełnionej utworami geologicznymi wytwarza się podciśnienie w wyniku czego następuje wessanie utworów geologicznych w porowatą strukturę filtra. Na jego powierzchni wytwarza się membrana filtracyjna (rys. 1).

Metodyka badań polegała na:

- zasilaniu stanowiska surową wodą ze studni Poltegoru-Institutu - regulacja zaworem Z1,
- poborze prób wody po przefiltrowaniu z zaworu Z2,
- wyprowadzeniu osadów przez zawór Z3.

Obliczenia i założenia prędkości filtracji według przyjętego schematu:

- powierzchnia filtracji struktury porowatej:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H; \quad r - \text{promień walca, } H - \text{wysokość walca}$$

$$F = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,14 \cdot 0,25 = 0,2198 \text{ m}^2 - \text{ustalona wartość filtracji}$$

- określona prędkość filtracji:

$$V = \frac{Q}{F} = 0,2198 \cdot 0,5 = 0,1099 \text{ m}^3/\text{h} = 1,8 \text{ dm}^3/\text{min};$$

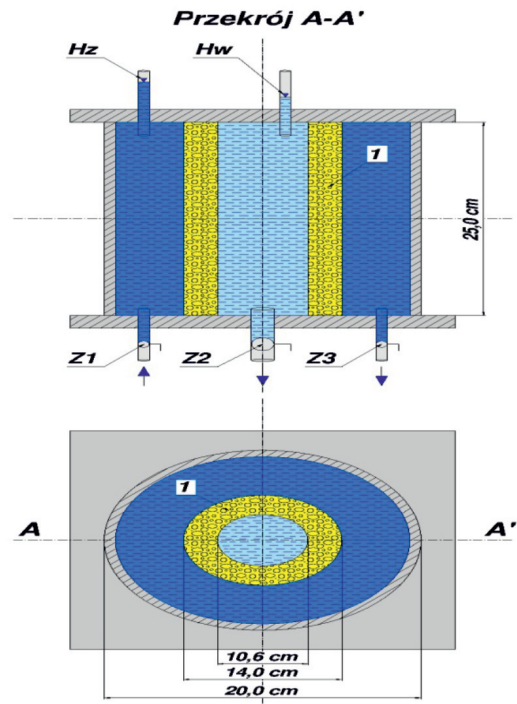
Q- wydajność; F- powierzchnia zewnętrzna

Przyjęto stosowanie prędkość odcieku na zaworze „Z2” poniżej 2 dm³/min.

Badania prowadzono w dwóch wariantach:

1. Proces prowadzono w sposób ciągły przez 19 dni. W badania wykorzystano pracę samej okładziny filtrowej.
2. Proces prowadzono w sposób ciągły przez 23 dni. Oprócz okładziny filtrowej stosowano także utwory geologiczne w postaci zeolitu.

Stanowisko badawcze



Objaśnienia:

H_z - zwierciadło zewnętrzne

H_w - zwierciadło wewnętrzne

1 - struktura porowata

Z1 - zawór na dopływie

Z2 - zawór na odpływie

Z3 - zawór do czyszczenia

Rys. 1. Schemat stanowiska z pleksi

Fig.1. The scheme of plexiglass

Metodyka badań fizykochemicznych

Pobór próbek wód, ich przygotowanie do oznaczeń oraz badania fizykochemiczne wykonano w oparciu o obowiązujące normy i przepisy oraz opracowane na ich podstawie procedury systemu jakości stosowane w laboratorium Badań Chemicznych Wód NU – 2, legitymującym się wydanym przez PCA certyfikatem numer AB 281 akredytowanego laboratorium badawczego.

Oznaczenia poszczególnych składników przeprowadzono następującymi metodami:

- temperaturę - termometrem cyfrowym TC- 204 wg PB12.4,
- odczyn pH - elektrochemicznie wg PN-C-04540.01:1990,
- przewodność elektryczną właściwą - konduktometrycznie wg PN-EN 27888:1999,
- substancje rozpuszczone – wagowo - po przesączeniu określonej ilości próbki wody, odparowaniu i wysuszeniu do stałej masy w temperaturze 103-105°C wg Procedury Badawczej PB - 12.8,
- wapń i magnez - kompleksometrycznie z wersenianem dwusodowym wg PN-ISO 6058:1999 i PN-ISO 6059:1999,
- zasadowości (wraz z obliczeniem zawartości jonów HCO₃⁻, CO₃⁻² i OH⁻ oraz twardości węglanowej i niewęglanowej) - miareczkowo wg PN-EN ISO 9963-1:2001 i instrukcji nr NU-2/1/2003,

- sód, potas, żelazo ogólne, mangan - metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie, na spektrometrze Perkin - Elmer typ Optima 2000DV, wg instrukcji firmowej Perkin-Elmer.

Próbki do badań pobierane były zgodnie z PB - 12.1 i PB - 12.2.

Do poszczególnych oznaczeń próbki wód przy poborze były utrwalane wg PB -12.1:

- metale ciężkie oraz sód, potas, wapń i magnez przez dodanie 2-2,5 ml stężonego HNO_3 na 1 l wody do $\text{pH} < 2$.

Metodyka badań mikrobiologicznych

Badania prowadzono w oparciu o Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61 poz. 417), z późniejszymi zmianami z dnia 20 kwietnia 2010 r. [8].

Liczba bakterii E. coli, bakterii z grupy coli oraz bakterii z grupy coli typu fekalnego

Oznaczenia wykonano metodą filtrów membranowych wg normy PN-EN ISO 9308-1 (2000), wraz z testami potwierdzającymi. Wyniki wyrażono w jednostkach jtk/100 ml.

Liczba paciorkowców kałowych

Oznaczenia dokonano metodą filtrów membranowych wg normy PN-EN ISO 7899-2, wraz z testami potwierdzającymi. Wyniki wyrażono w jednostkach jtk/100 ml.

Ogólna liczba mikroorganizmów

Oznaczenia przeprowadzono wg normy PN-EN ISO 6222. Posiew wykonano metodą płytek lanych. Inkubację prowadzono w temperaturach 22°C przez $68 \pm 3\text{h}$ oraz 36°C przez $44 \pm 4\text{h}$. Wyniki wyrażono w jednostkach jtk/1 ml.

Wyniki badań

Badania fizykochemiczne i mikrobiologiczne

W przeprowadzonych analizach chemicznych (tab. 1.) wód wykazano zmiany w kilku parametrach.

Odczyn pH zwykle był wyższy w próbie badawczej niż w kontrolnej. Różnice te były w granicach 0,1- 0,17 jednostek pH.

Zasadowość ogólna badanych prób wody była na podobnym poziomie, podobnie jak ich twardość.

Zawartość sodu przez pierwsze trzy okresy badawcze była wyższa w próbie badawczej, natomiast w ostatnim okresie pomiarowym, w kontroli odnotowano wyższe stężenie tego pierwiastka. W przypadku zawartości potasu zaobserwowano podobne tendencje, podobny kierunek zmian tego parametru.

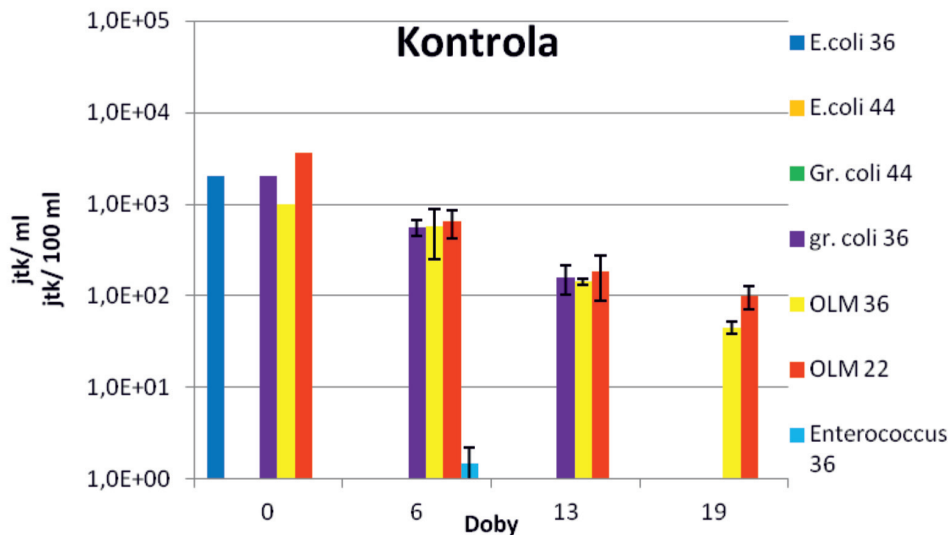
Zasadniczym problemem wody dopływającej ze studni są przekroczenia w zakresie ilości manganu i żelaza. W każdym okresie badawczym ilość żelaza zmniejszana była na okładzinie filtrowej. W szóstej dobie w wodzie surowej odnotowano 3,5 mg/ml tego pierwiastka, a w próbie badawczej 0,83 mg/ml. W dziewiętnastej dobie prowadzenia badań w próbie kontrolnej odnotowano 4,2 mg/ml żelaza, natomiast jego ilość w próbie badawczej wynosiła 0,14 mg/ml. Był to najwyższy, obserwowany w tych badaniach, poziom obniżenia stężenia żelaza.

Zawartość manganu w wodzie surowej była na bardzo wysokim poziomie osiągając wartość 0,98 mg/ml, co znacznie przekraczało dopuszczalną normę. Jednak zastosowanie oczyszczania na hydrocyklonie tylko w dwóch okresach pomiarowych obniżyło ilość manganu, choć w bardzo niewielkim stopniu. W dobie szóstej i trzynastej w próbie badawczej odnotowano wzrost ilości manganu w stosunku do wody surowej.

Tab. 1. Wyniki badań chemicznych wody surowej, dopływającej do hydrocyklonu (K) oraz próby badawczej (B), którą stanowiła woda przechodząca przez hydrocyklon

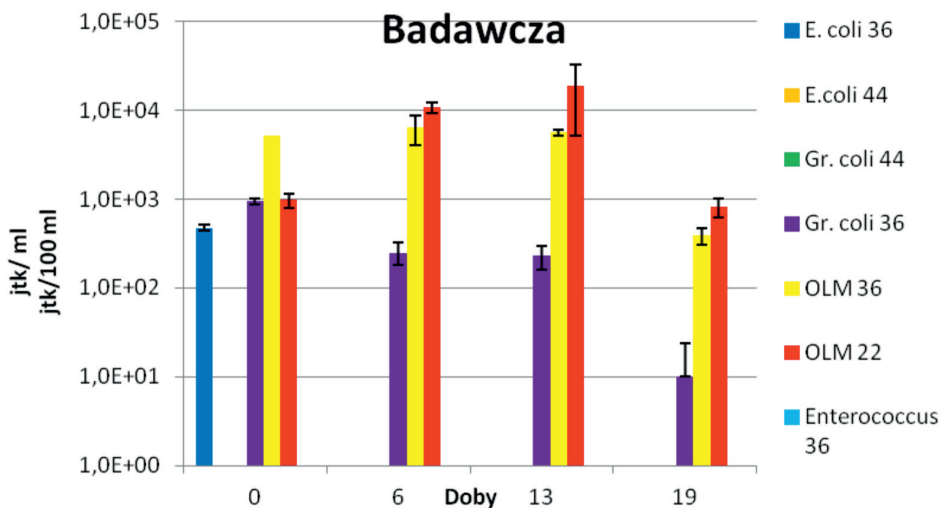
Tab.1. The results of chemical testing raw water flowing into the hydrocyclone (K) and the research sample (B) consisting of water passing through a hydrocyclone

Wyszczególnienie	Jedn.	K	B	K	B	K	B	K	B
Czas trwania procesu		0		6		13		19	
Odczyn-pH	-	6,94	7,08	7,30	7,26	6,94	7,11	6,98	7,11
Przewodność właściwa	$\mu\text{S}/\text{cm}$	844	877	848	857	827	829	831	823
Zasadowość ogólna	mval/l	3,10	3,10	3,04	3,08	3,04	3,06	3,00	3,02
Zasadowość wobec fenoloftaleiny	mval/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Twardość									
ogólna	mval/l	4,71	4,91	4,77	4,75	4,69	4,75	4,73	4,75
niewęglanowa	mval/l	1,61	1,81	1,73	1,67	1,65	1,69	1,73	1,73
węglanowa	mval/l	3,10	3,10	3,04	3,08	3,04	3,06	3,00	3,02
Zawartość									
sodu	mg/l	146,68	160,71	135,33	147,55	146,45	159,97	161,95	149,80
potasu	mg/l	8,68	9,95	7,28	7,94	8,00	8,39	8,68	7,88
żelaza	mg/l	0,45	0,40	3,50	0,83	4,22	2,42	4,20	0,14
manganu	mg/l	0,63	0,59	0,78	0,86	0,93	0,98	0,96	0,89
wapnia	mg/l	69,19	71,59	71,19	71,19	70,78	71,19	71,99	71,19
magnezu	mg/l	15,33	16,26	14,83	14,59	14,11	14,59	13,86	14,59
jonów HCO_3	mg/l	189,16	189,16	185,50	187,94	185,50	186,72	183,06	184,28



Rys. 2. Analiza mikrobiologiczna wody surowej (*Escherichia coli* w 36°C, *E. coli* w 44°C, Grupa *coli* w 44°C, Grupa *coli* w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 22°C, *Enterococcus* 36°C)

Fig.2. Microbiological analysis of the raw water (the *Escherichia coli* at 36 ° C, *E. coli* at 44 ° C, *coliforms* at 44 ° C, *coliforms* at 36 ° C, the overall number of microorganisms at 36 ° C, the overall number of microorganisms at 22 ° C. *Enterococcus* 36 ° C)



Rys. 3. Analiza mikrobiologiczna wody przechodzącej przez hydrocyklon (*Escherichia coli* w 36°C, *E. coli* w 44°C, Grupa *coli* w 44°C, Grupa *coli* w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 22°C, *Enterococcus* 36°C)

Fig.3. The microbiological analysis of the water through the hydrocyclone (the *Escherichia coli* at 36 ° C, *E. coli* at 44 ° C, *coliforms* at 44 ° C, *coliforms* at 36 ° C, the overall number of microorganisms at 36 ° C, the overall number of microorganisms at 22 ° C. *Enterococcus* 36 ° C)

Z przeprowadzonych badań wynika, że rozkład zanieczyszczenia mikrobiologicznego był zmienny (rys. 2, 3). Początkowo ilość poszczególnych grup większa była w wodzie surowej ze studni. Wyjątek stanowiła ogólna liczba mikroorganizmów w 36°C, która była niższa niż w próbie badawczej. Woda przepływająca przez okładzinę filtracyjną według IGO już w początkowym etapie eliminowała część mikroorganizmów o pół rzędu logarytmicznego. W kolejnych dobach w próbie kontrolnej wody w większej liczbie występowały bakterie z grupy coli 36°C ($5,6 \times 10^2$ jtk/100ml), z kolei mniej ich odnotowano w próbie badawczej ($2,5 \times 10^2$ jtk/100ml). W tym samym czasie tj. w szóstej dobie, w próbie badawczej OLM 36°C i 22°C wynosiły odpowiednio $6,4 \times 10^3$ jtk/ml oraz $1,0 \times 10^4$ jtk/ml, natomiast w kontrolnej pojawiły się bakterie z rodzaju *Enterococcus*. W dobie trzynastej w obu próbach K i B bakterie z grupy coli były na podobnym poziomie, natomiast w próbie badawczej występowała większa liczba OLM w 36°C

i 22°C. Z kolei, w ostatnim dniu prowadzenia doświadczenia wykazano pogorszenie jakości mikrobiologicznej wody w próbie badawczej w stosunku do kontroli.

Podsumowując tę część badań można stwierdzić, że okładzina filtracyjna spełniała swoją funkcję, jednak tylko do pewnego momentu, do trzynastej doby. Przy bardzo brudnej wodzie, z czasem prowadzenia doświadczenia, okładzina zanieczyszczała się, kumulowały się bakterie i następowało wówczas wtórne skażenie wody dopływającej do filtra.

Wyniki z badań wodą surową z dodatkiem zeolitu

W kolejnym etapie badań testowano parametry technologiczne wody oczyszczanej w hydrocyklonie z zastosowaniem materiału filtracyjno-sorpcyjnego w postaci zeolitu.

Z przeprowadzonej analizy fizykochemicznej (tab. 2) wynika, że odczyn pH był w początkowym etapie procesu

Tab. 2. Wyniki badań chemicznych wody surowej (K) oraz próby badawczej (B) wody przechodzącej przez hydrocyklon z zeolitem
 Tab.2. The results of chemical tests of raw water (K) and the research sample (B) of water passing through a hydrocyclone with zeolite

Wyszczególnienie	Jedn.	K	B	K	B	K	B	K	B
Czas trwania procesu		0		8		14		23	
Odczyn-pH	-	6,88	6,87	6,99	7,16	6,94	7,11	6,99	7,04
Przewodność właściwa	μS/cm	809	789	841	843	856	846	802	806
Zasadowość ogólna	mval/l	3,10	3,04	3,04	3,00	2,98	2,98	3,00	2,96
Zasadowość wobec fenoloftaleina	mval/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Twardość									
ogólna	mval/l	5,12	5,12	4,92	4,83	4,81	4,81	4,73	4,75
niewęglanowa	mval/l	2,02	2,08	1,83	1,83	1,83	1,83	1,73	1,79
węglanowa	mval/l	3,10	3,04	3,04	3,00	2,98	2,98	3,00	2,96
Zawartość									
sodu	mg/l	102,66	104,46	101,84	100,81	99,27	98,28	99,38	97,94
potasu	mg/l	16,31	15,63	12,87	12,70	12,36	12,02	13,34	13,02
żelaza	mg/l	0,67	0,47	3,79	0,97	5,51	0,20	6,28	0,17
manganu	mg/l	0,47	0,48	0,96	1,01	1,00	1,15	0,83	0,84
wapnia	mg/l	78,54	78,13	74,48	74,48	74,07	73,37	72,45	72,85
magnezu	mg/l	14,61	14,86	14,68	13,48	13,48	13,73	13,51	13,50
jonów HCO ₃	mg/l	189,16	185,50	185,50	183,06	181,84	181,84	183,06	180,82

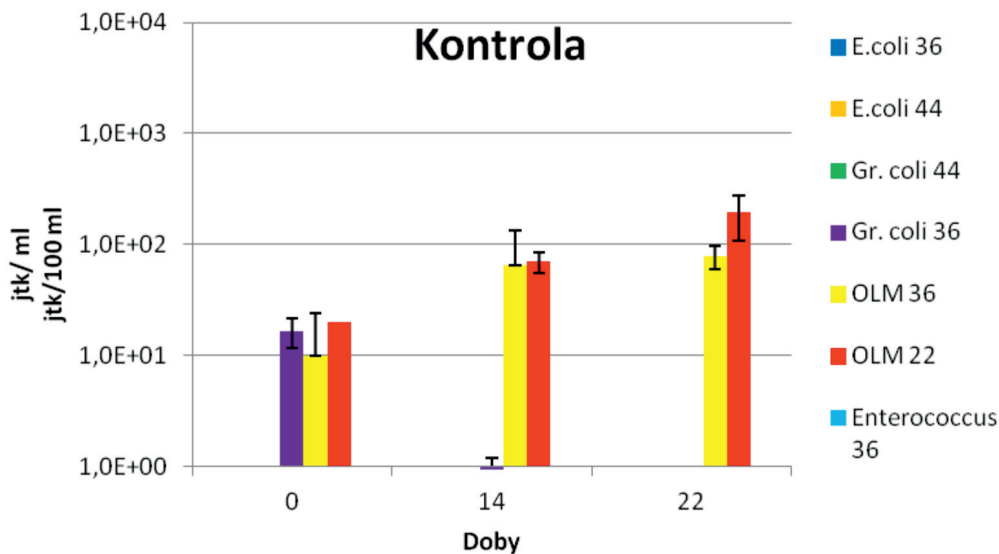
równy, natomiast w kolejnych próbach pomiarowych w próbie badawczej był nieco wyższy niż w próbie kontrolnej. Takie wartości jak przewodność, zasadowość, twardość oscylowały na podobnym poziomie zarówno w próbie właściwej jak również w kontroli.

Znacząco zmienna była zawartość żelaza. W każdym okresie pomiarowym ilość żelaza mniejsza była w próbie badawczej niż w kontrolnej. W czasie rozpoczęcia doświadczenia oraz w czternastej i dwudziestej czwartej dobie trwania procesu obniżona była zawartość żelaza do wartości odpowiadającej normom. Natomiast zawartość manganu znacząco nie zmieniała się.

Podobnie jak w poprzednim doświadczeniu proces od-

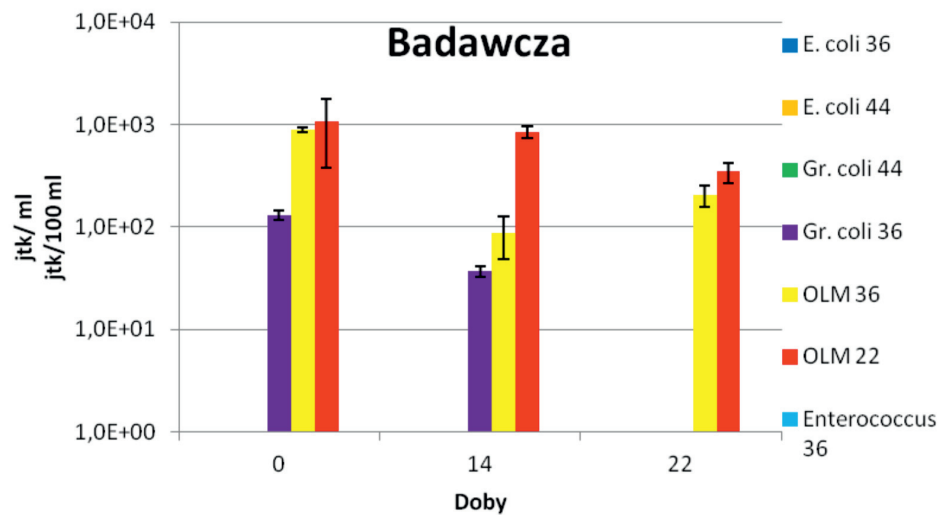
czyszczania skuteczny był w zakresie eliminowania żelaza.

Z przeprowadzonych badań wynika, że woda surowa była zanieczyszczona (rys. 4), natomiast woda przechodząca przez okładzinę filtracyjną oraz zeolit, była znacznie bardziej zanieczyszczona (rys. 5). W próbie badawczej ilość bakterii z grupy coli znacznie przekraczała normy dla wody do spożycia. W pierwszej i czternastej dobie ich ilość wynosiła odpowiednio $1,5 \times 10^2$ jtk/100 ml oraz 5×10^1 jtk/100 ml. Duża liczba OLM 36°C występowała również w próbie badawczej, co może oznaczać, że występowała tam duża liczba bakterii chorobotwórczych. W wodzie surowej dopływającej do hydrocyklonu również występowała OLM w 36°C i w 22°C, jednak jej liczba



Rys. 4. Analiza mikrobiologiczna wody surowej (*Escherichia coli* w 36°C, *E. coli* w 44°C, Grupa *coli* w 44°C, Grupa *coli* w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 22°C, *Enterococcus* 36°C)

Fig.4. Microbiological analysis of the raw water (the *Escherichia coli* at 36 ° C, *E. coli* at 44 ° C, *coliforms* at 44 ° C, *coliforms* at 36 ° C, the overall number of microorganisms at 36 ° C, the overall number of microorganisms at 22 ° C. *Enterococcus* 36 ° C)



Rys. 5. Analiza mikrobiologiczna wody przechodzącej przez hydrocyklon z zeolitem (*Escherichia coli* w 36°C, *E. coli* w 44°C, Grupa *coli* w 44°C, Grupa *coli* w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 36°C, Ogólna Liczba Mikroorganizmów w 22°C, *Enterococcus* 36°C)

Fig. 5. The microbiological analysis of the water through the hydrocyclone (the *Escherichia coli* at 36 °C, *E. coli* at 44° C, *coliforms* at 44° C, *coliforms* at 36° C, the overall number of microorganisms at 36 °C, the overall number of microorganisms at 22°C. *Enterococcus* 36° C)

była nieco niższa. Obecne były bakterie z grupy coli, jednak ich liczebność była niższa niż w próbce badawczej.

Podsumowanie

Jakość wody surowej, zasilającej hydrocyklon, choć była złej jakości ze względu na długi czas braku eksploatacji studni, stanowiła doskonały obiekt badawczy.

Woda surowa, dopływająca do hydrocyklonu skażona była chemicznie i mikrobiologicznie. Skażenie chemiczne obejmowało ponadnormatywną obecność manganu i żelaza, natomiast skażenie bakteryjne obejmowało chorobotwórcze mikroorganizmy. Tak duży ładunek zanieczyszczeń spowodował, że zastosowane rozwiązanie skuteczne było tylko w pierwszych etapach badań. Natomiast w dalszej perspektywie czasowej stanowiło wtórne źródło skażenia.

W drugim etapie doświadczenia badano skuteczność wykorzystania złóż filtracyjno- sorpcyjnych z zeolitem na zmiany właściwości wody. Z przeprowadzonych analiz wynika, że woda dopływająca niosła zbyt duże zanieczyszczenie, zatem hydrocyklon wraz ze złożem filtracyjno- sorpcyjnym pracował

mało efektywnie, na co wskazywały analizy chemiczne i mikrobiologiczne. Natomiast sam sposób jego pracy nie budził zastrzeżeń. Doprowadzony materiał filtracyjno- sorpcyjny pracował zgodnie z przyjętymi założeniami.

Porównując te dwie metody poprawy jakości wody, należy wskazać, że wykorzystanie samej okładziny filtracyjnej było bardziej skuteczne niż zastosowanie okładziny wraz z zeolitem. Prawdopodobnie sam zeolit wnosił skażenie mikrobiologiczne.

Wcześniej przeprowadzone badania własne zmian parametrów składu wód przefiltrowywanych przez złoża sorbentowe wapniowo- magnezowe i kwarcowe w badaniach lizymetrycznych, wykazały ich wpływ na regulację pH, odżelazienie oraz jednoczesne wzbogacenie w magnez i wapń [7]. Należy podkreślić, że we wcześniejszych badaniach dobrane zostały złoża, na podstawie wielu prób, a stanowiły je utwory geologiczne, występujące w kopalniach odkrywkowych. Stąd przeprowadzone pionierskie badania należałoby szczegółowo dopracować pod kątem doboru złóż sorbentowych lub zmodyfikować te wykorzystywane we wcześniejszych badaniach.

*Na prezentowane rozwiązanie udzielony został patent P. 383478,
pt.: Sposób uzdatniania wody oraz hydrodynamiczny moduł filtracyjny do realizacji tego sposobu.*

*Badania finansowane z działalności statutowej „Poltegor- Instytut” Instytutu Górnictwa Odkrywkowego,
zlecenie 197012/N*

Literatura

- [1] Al-Gabr H M, Zheng T, Yu X., *Efficacy of two chemical coagulants and three different filtration media on removal of Aspergillus flavus from surface water*. Journal Environ. Sci., 2014, 26: 274- 280
- [2] Bożek M., Konieczny K., *Technologie membranowe w uzdatnianiu wody do picia*. Instytut Inżynierii Wody i Ścieków Politechnika Śląska, 2010, 315-338

- [3] Fan X., Tao Y., Wang L., Zhang X., Lei Y., Wang Z., Noguchi H., *Performance of an integrated process combining ozonation with ceramic membrane ultra-filtration for advanced treatment of drinking water*. Desalination, 2014, 335: 47- 54
- [4] Lakretz A., Elifantz H., Kviatkovski I., Eshel G., Mamane H., *Automatic microfiber filtration (AMF) of surface water: Impact on water quality and biofouling evolution*. Water Res, 2014, 48: 592-604
- [5] Logsdon G. S., *Effective Management And operation of coagulation and filtration*. Water, Air, and Soil Pollution, 2000, 123: 159–166
- [6] Marek A., Sobolczyk J., Bicz W., *Wstępne badania laboratoryjne zmian parametrów składu wód w procesach filtracji przez złoże sorbentowe*. Górnictwo Odkrywkowe, 2012, 5-6: 21-30. ISSN 0043-2075
- [7] Marek A., Sobolczyk J., Bicz W., *Changes of water composition in filtration processes due to natural geological formations obtained from opencast mines*. International 7 th Conference Uranium Mining And Hydrogeology, Freiberg, 2014: 625- 634
- [8] No-Suk P., Seong-Su. K., Dong-Hark P., Sangyoung P., Seung-II C., *The optimal composition of the filter-media for coping with daily flow-rate fluctuation*. Korean J Chem Eng, 2010, 27(5): 1492-1496
- [9] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61 poz. 417), z późniejszymi zmianami z dnia 20 kwietnia 2010 r.
- [10] Schmidt Z. *Rozpoznanie i dobór materiałów filtracyjno- sorbcyjnych do budowy złóż dla oczyszczania wody*. Praca archiwalna IGO Wrocław, 2011 nr arch. 6388/IGO/1
- [11] Taro O., Hiroyuki K., Hiroyuki H., Katsumi O. *Performance of membrane filtration system used for water treatment*. Desalination, 1996, 106: 107-113



Kopalnia Nastawice