

Lidia KIEDRYŃSKA¹, Tadeusz SIWIEC¹,
Piotr NOWAK¹, Roman MICHALUK²

¹Katedra Budownictwa i Geodezji
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Zakład Wodociągów i Kanalizacji
Warszawa

²Urząd Gminy Międzyrzec Podlaski

BADANIA TECHNOLOGICZNE REDUKCJI MANGANU, AZOTU AMONOWEGO I UTLENIALNOŚCI Z UJĘCIA WODY W HALASACH

TECHNOLOGICAL RESEARCH ON OXIDIZABILITY, MANGANESE
AND AMMONIA REDUCTION AT WATER INTAKE IN HALASY

Water purification plant in Halasy supplies water to the inhabitants of Międzyrzec Podlaski. The analysis of raw water proves, that it isn't of good quality and its' treatment is difficult, because iron and manganese occur in that water in the form of organic compounds. The process line, applied at water purification plant in Halasy, is unable to purify such water. The biggest problem concerns: the colour of water, iron, manganese and ammonia content, oxidizability and turbidity, and also the low temperature of water, because the plant cooperates with heat pump. Additional difficulty were the restrictive limits to the plant build-up and development. After the research, it was decided to implement a non-standard solution, using 4 existing filters but in a three-stage filtration. The first, sandy filter (iron-removing), where the water flows at a high speed about 20m/h, is followed by two simultaneously operating active-mass filters (manganese -removing), and, at the end, there is the filter with the activated coal, reducing the colour and improving the smell. This solution was found to be effective, but it requires $KMnO_4$ dosage.

1. Wprowadzenie

Stacja wodociągowa w Halasach jest jednym z obiektów zaopatrujących w wodę gminę Międzyrzec Podlaski. Woda surowa pobierana ze studni należy do wód nazywanych potocznie jako „trudna”. Jej parametry zostały zamieszczone w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie wyników wody surowej ze studni

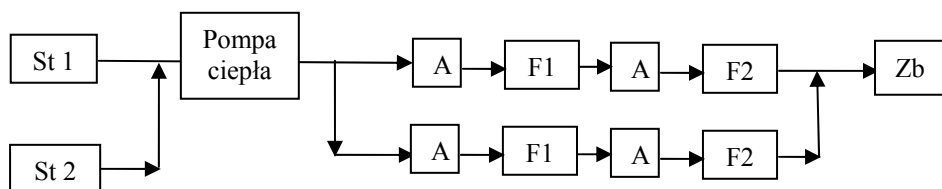
Tab. 1. The results of the analysis of raw well water

rodzaj oznaczenia	jednostka	wynik oznaczenia	wartość dopuszczalna Dz.U. 07.67.417
odczyn	pH	7,37	6,5 – 9,5
przewodnictwo	$\mu\text{S/cm}$	311	2500
zapach	-	N	A
barwa	mgPt/L	91	15
mętność	NTU	1,96	0 - 1
zasadowość	mval/L	4,49	-
twardość	mgCaCO_3/L	218,5	60 - 500
amonowy jon	mgNH_4/L	1,03	0,5
azotany	mgNO_3/L	0,94	50
chlorki	mgCl/L	n.w.	250
mangan	mgMn/L	0,13	0,05
żelazo	mgFe/L	1,36	0,2
utlenialność	mgO_2/L	6,29	5

Jak widać woda ze studni charakteryzuje się lekko zasadowym odczynem, pH 7,37, bardzo wysoką intensywnością barwy wynoszącą 91 mgPt/L oraz podwyższoną mętnością wynoszącą 1,96 NTU. Wysoka barwa i podwyższona mętność przy podwyższonej utlenialności 6,29 mgO_2/L wskazują na występowanie w wodzie związków organicznych. Związki te występują prawdopodobnie w połączeniach z żelazem. Wysoka barwa, dość wysoka utlenialność i relatywnie niska mętność sugerują, że woda zawiera znaczne ilości substancji organicznych w formie koloidalnej i rozpuszczonej wywołujących zabarwienie wody. Takich substancji nie da się usunąć podczas filtracji przez filtr odżelaziający lub odmanganiający [1,3].

Podwyższenia stężeń występują także w zakresie związków żelaza i manganu i są odpowiednio 1,36 mgFe/L oraz 0,13 mgMn/L . Dodatkowo zaobserwowano podwyższoną zawartość jonu amonowego 1,06 mgNH_4/L , a także słabo wyczuwalny zapach siarkowodoru, nieakceptowany jako zapach wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Pozostałe analizowane wskaźniki nie przekraczały wartości normatywnych [2].

Dla takiej wody zastosowano układ pokazany na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ciągu technologicznego

Fig. 1. Process line scheme

Nietypowym elementem układu jest zastosowanie wody ze studni jako źródło dolnej pompy ciepła. Jest to oczywiście bardzo dobrze pomyślane wykorzystanie ciepła wody lecz zmienia temperaturę wody wpływającą do filtrów. Podczas pracy pompy temperatura obniża się do 3°C , co wpływa korzystnie na pracę aeratorów, gdyż woda jest świetnie natleniona lecz reakcje chemiczne utleniania żelaza i manganu są nieco spowolnione. Po przepłynięciu przez aeratory woda wpływa do filtrów ze złożem piaskowym, gdzie zachodzi usuwanie żelaza i częściowo manganu. Za filtrami F1 woda płynie do filtrów F2 wypełnionych węglem aktywnym poprzedzonych aeratorami. Obecnie do aeratorów tych nie jest włączane powietrze dlatego są jedynie zbiornikami przepływowymi, trochę wydłużającymi czas reakcji. Po filtrach węglowych woda płynie do zbiornika i dalej poprzez pompy do sieci. Podwójne aeratory były spowodowane pierwotnym pomysłem, że stacja będzie pracować jako układ jednostopniowej filtracji z czterema zestawami aerator – filtr pracującymi równolegle. Ponieważ pomysł się nie sprawdził poprzez modyfikację orurowania doprowadzono do stanu jak na rys.1. Jednak i ten schemat nie sprawdzał się i woda wykazywała ponadnormatywne stężenia, przede wszystkim manganu. Należy jeszcze dodać, że ze względu na trudności eksploatacyjnych zarzucono dawkowanie roztworu KMnO_4 , które było wymagane w pierwotnym projekcie.

2. Badania technologiczne

2.1. Istota przyjętej metody

Poszukiwania najlepszej technologii nie wykonywano w oderwaniu od istniejącego układu technologicznego. Przyswiecała idea, aby przy jak najmniejszych kosztach przeznaczonych na modernizację uzyskać dobry efekt uzdatniania. Założono, że nie będą demontowane oraz wymieniane filtry stąd zestawiano w laboratorium układy technologiczne o zmienianych złożach i prędkościach filtracji przy założeniu, że mamy do dyspozycji 4 filtry. Założono, że stacja będzie pracować w układzie filtracji dwustopniowej z ewentualnymi modyfikacjami.

W analizowanym przypadku zachodzi konieczność obniżenia barwy i mętności oraz usunięcia nadmiaru związków organicznych, związków żelaza i manganu oraz jonu amonowego. Wysoka barwa wody i podwyższona utlenialność wskazują na występowanie żelaza i manganu w połączeniach organicznych. Usunięcie żelaza i manganu będzie skuteczne przy odpowiednio wysokim stopniu utleniania tych związków. W przypadku takiej wody mogą sprawdzić się dwa podejścia. Pierwsze przy zastosowaniu procesu koagulacji przy pomocy $Al_2(SO_4)_3$ i filtracji na złożu piaskowym z ewentualnym wcześniejszym dawkowaniem utleniacza, ewentualnym dodatkowym odmanganianiem lub drugie polegające na dawkowaniu manganianu(VII) potasu, $KMnO_4$, który rozrywając połączenia organiczne może przyczynić się do sflokulowania cząstek koloidalnych, które będzie można usunąć w procesach filtracji. Rozwiązanie pierwsze jest bardziej skuteczne, lecz wprowadza spore utrudnienia procesowe związane z precyzją dawki (temperatura wody $30^{\circ}C$) oraz koniecznością częstszego płukania filtrów, co spowoduje większe zużycie wody na płukanie. Duże zużycie wody na płukanie skutkuje koniecznością odpowiedniego zaprojektowania odstoju wód popłucznych i systemu odprowadzenia wód popłucznych do środowiska. Druga metoda jest znacznie łatwiejsza, lecz nie w każdym przypadku bywa skuteczna. Dlatego, aby ją wybrać konieczne jest sprawdzenie skuteczności działania w badaniach technologicznych w skali laboratoryjnej.

2.2. Metodyka badań

Dla wyboru metody uzdatniania wody oraz określenia parametrów procesowych zostały wykonane badania technologiczne w skali laboratoryjnej. Przed rozpoczęciem badań technologicznych w wodzie surowej każdorazowo oznaczano najważniejsze wskaźniki fizykochemiczne. W każdym cyklu napowietrzanie odbywało się bezpośrednio w zbiorniku wody surowej za pomocą pompki akwariowej. Woda po napowietrzeniu wlewana była do zbiornika górnego skąd poprzez zawór regulacyjny wlewała się do kolumny filtracyjnej. Następnie przepływając przez warstwę filtracyjną dalej warstwę podtrzymującą i kolejno przez wylot i zawór regulacyjny dolny wypływała jako woda uzdatniona. Prędkość filtracji regulowana była przez odpowiedni stopień przymknięcia zaworu regulacyjnego dolnego i wysokość słupa wody nad złożem. Z kolei niezmienność wysokości słupa wody nad złożem była ustawiana przez odpowiedni stopień przymknięcia zaworu regulacyjnego górnego. Ustawienie wszystkich trzech elementów pozwalało na filtrowanie wody z żadaną prędkością. Rodzaje przeprowadzonych badań przedstawiają się następująco:

1. Badanie klasyczną metodą napowietrzania (5 min.), odżelaziania (złoże piaskowe) i odmanganiania (złoże piroluzytowe)
Wyniki tych badań technologicznych, były niezadowolające (tabela 3), woda po tak prowadzonej filtracji nie nadawała się do picia.
2. Podjęto próby chemicznego utleniania wody, z wykorzystaniem manganianu(VII) potasu, a następnie filtrowaniu przez:
 - a. złoże piaskowe i złoże z piroluzytem, (parametry jak w badaniach wstępnych)
 - b. złoże piaskowe i złoże zielonego piasku (green sand).

Zastosowano kolumny filtracyjne o średnicy wewnętrznej 55 mm i wysokości 2 m.

Parametry złóż przedstawiają się następująco

- filtr odżelaziający (badania wstępne)
 - warstwa podtrzymująca ze żwiru o granulacji 3,15 - 5,0 mm i wysokości 0,2 m
 - złoże piaskowe o granulacji 0,8 - 1,25 mm i wysokości 0,5 m
- filtr odmanganiający (badania wstępne)
 - warstwa podtrzymująca ze żwiru o granulacji 3,15 - 5,0 mm i wysokości 0,2 m

- warstwa piroluzytu o wysokości 0,3 m
- złoże Defeman o wysokości 0,5 m
- ze złożem piaskowym (badania zasadnicze)
 - warstwa podtrzymująca ze żwiru o granulacji 3,15 - 5,0 mm i wysokości 0,3 m
 - złoże piaskowe o granulacji 0,8 - 1,25 mm i wysokości 1 m
- ze złożem z zielonego piasku (badania zasadnicze)
 - warstwa podtrzymująca ze żwiru o granulacji 3,15 - 5,0 mm i wysokości 0,3 m
 - złoże z zielonego piasku o granulacji 0,63 - 0,8 mm i wysokości 1 m

Badania technologiczne realizowano z prędkością filtracji 5, 10, 20 m/h.

Dawkę manganianu(VII) potasu, KMnO_4 , wyznaczono w następujący sposób: do napowietrzanej wody surowej dodawano manganianu(VII) potasu, po 30 minutowym czasie kontaktu wodę filtrowano przez sącdek średni o średnicy 180 mm. W przefiltrowanej wodzie oznaczano: temperaturę, pH, przewodnictwo, barwę, mętność, jon amonowy, żelazo. Na podstawie oznaczonych parametrów wybrano „optymalną” dawkę KMnO_4 , tzn. skutecznie utleniającą związki zawarte w badanej wodzie i obniża niektóre parametry w stosunku do wody napowietrzanej. W przesączu stwierdzono obniżenie barwy z 121 do 57 mgPt/L, mętności z 5,35 do 1,24 NTU oraz żelaza z 2,12 do 0,3 mgFe/L.

3. Wyniki badań technologicznych i ich omówienie

Badania początkowe obejmujące analizę parametrów jakościowych wody przed i po napowietrzaniu wykazały niewielkie podwyższenie odczynu, co jest pozytywnym objawem, gdyż sugeruje możliwość obniżania tą drogą stężenia dwutlenku węgla. Pozostałe parametry nie wykazały znaczących zmian.

Uzyskane wyniki badań technologicznych zestawione zostały w tabelach 2 ÷ 8.

Tab. 2. Wyniki badań wstępnych, prędkość filtracji $v=10$ m/h

Tab. 2. Initial results, filtration speed $v=10$ m/h

Rodzaj oznaczenia	Jednostka	rodzaj złoża			
		złoże piaskowe		złoże z piroluzytem	
		czas pracy filtru			
		do 30 min	do 60min	do 30 min	do 60min
odczyn	pH	7,07	7,37	7,23	7,14
przewodnictwo	$\mu\text{S/cm}$	303	302	318	310
barwa	mgPt/L	80	60	29	29
mętność	NTU	1,06	1,03	0,49	0,42
amonowy jon	mgNH_4^+/L	0,86	0,85	0,34	0,41
mangan	mgMn/L	0,08	0,08	nw	nw
żelazo	mgFe/L	0,70	0,62	0,20	0,21

„czas pracy filtru” przedstawia po ilu minutach od rozpoczęcia filtracji pobierane były próbki kontrolne, w których mierzone były odpowiednie parametry

Badania wstępne polegały na sprawdzeniu, czy zastosowanie obecnego systemu filtracji, lecz z wymianą złóż będzie skuteczne. Niestety jak widać z tabeli 2 klasyczna metoda polegająca na napowietrzeniu i filtracji dwustopniowej przez złożę piaskowe i aktywne złożę odmanganiające (piroluzytowe) z prędkością filtracji rzędu 10 m/h w tym przypadku nie jest dobra. Po pierwszym filtrze piaskowym zauważono obniżenie się stężenia żelaza i manganu przy niemal niezmiennych pozostałych parametrach. Przepłynięcie tej wody przez drugi filtr (piroluzytowy) wykazało znaczącą poprawę jakościową. Przede wszystkim mangan udało się usunąć poniżej granicy wykrywalności, żelazo do granic stężeń normatywnych oraz jon amonowy poniżej stężeń normatywnych. Oczywiście jak zawsze w procesie filtracji obniżona została również mętność wody. Niestety barwa, mimo znaczącej redukcji nadal przekraczała wartość normatywną. Wynika stąd, że nie udało się w wystarczającym stopniu sflokulować koloidy i w wyższym stopniu usunąć je na filtrach.

Przed rozpoczęciem badań uzdatniania wody przy wykorzystaniu manganian(VII) potasu KMnO_4 konieczne było ustalenie wymaganej jego dawki, która pozwoli na skuteczne utlenienie zarówno substancji organicznych jak i nieorganicznych, ale znajdujących się na niskich stopniach utlenienia.

Jak widać z tabeli 3 dawka $2,0 \text{ g KMnO}_4/\text{m}^3$ powinna pozwolić na efektywne utlenienie substancji organicznych i nieorganicznych znajdujących się w wodzie. Barwa wody przefiltrowanej została zredukowana ponad 50%, stężenie żelaza 86%. Wyższe dawki KMnO_4 dały podobne efekty, jednak korzystniej i taniej jest operować jak najmniejszymi dawkami.

Tab. 3. Dobór dawki KMnO_4 dla wody surowej

Tab. 3. KMnO_4 dose determination for the raw water

rodzaj	jednostka	woda	dawka dodanego roztworu [$\text{g KMnO}_4/\text{m}^3$]					
		surowa	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
temperatura	°C	15,9	19,6	19,8	18,7	18,6	19,0	18,7
odczyn	pH	7,22	8,25	8,37	7,75	7,78	7,90	7,90
przewodnictwo	$\mu\text{S}/\text{cm}$	307	304	307	311	309	308	308
barwa	mgPt/L	121	70	79	57	56	61	85
mętność	NTU	5,35	1,62	1,59	1,24	1,18	1,37	2,26
jon amonowy	mgNH_4^+/L	1,20	1,08	1,08	1,10	0,88	1,01	1,03
żelazo	mgFe/L	2,12	0,51	0,50	0,30	0,24	0,21	0,31

Kolejnym badaniem było sprawdzenie na ile dawka KMnO_4 wspomogła filtrację wody przez złożę piaskowe i piroluzytowe z prędkością 10 m/h. Próbkę kontrolną były pobierane dość często, bo co 15 min. aż do 75 min. Jak widać z tabeli 4 dawka KMnO_4 znacząco wpłynęła na obniżkę stężenia żelaza, manganu i utlenialności, lecz nie poprawiła stężenia jonu amonowego, a szczególnie barwy. Barwa cały czas była znacząco powyżej wartości normatywnych. Stężenie manganu wahało się w granicach 0,06 – 0,08 mgMn/L , a raz wyniosło 0,03 mgMn/L . Są to wartości niskie, lecz jednak przekraczają stężenia normatywne 0,05 mgMn/L . Z tego powodu uznano, że należy zmienić złożę w odmanganiacz na bardziej skuteczny zielony piasek (green sand).

Wyniki badań dla trzech różnych prędkości filtracji, to jest 20 m/h, 10 m/h i 5 m/h zostały przedstawione w tabelach 5, 6 i 7.

Tab. 4. Filtracja wody przez złoża z dodatkiem wyznaczonej dawki $KMnO_4$ równej 2 g/m^3 , $v = 10\text{ m/h}$

Tab. 4. Filtration through beds with the addition of the determined $KMnO_4$ dose, equal to 2 g/m^3 , $v = 10\text{ m/h}$

		dawka $2\text{ g KMnO}_4/\text{m}^3$, $v = 10\text{ m/h}$				
rodzaj oznaczenia	jedn.	piasek kwarcowy / piroluzyt				
		15 min	30 min	45 min	60 min	75 min
odczyn	pH	7,66 / 7,77	7,80 / 7,83	7,83 / 7,88	8,04 / 7,86	8,11 / 7,96
przewod.	$\mu\text{S/cm}$	306 / 362	302 / 337	306 / 332	302 / 329	306 / 331
barwa	mgPt/L	42 / 26	47 / 29	55 / 30	43 / 31	50 / 32
mętność	NTU	0,65 / 0,31	0,75 / 0,32	0,83 / 0,32	0,49 / 0,25	0,67 / 0,27
jon amonowy	mgNH_4^+/L	0,79 / 0,25	0,85 / 0,39	0,90 / 0,55	0,92 / 0,58	0,94 / 0,55
żelazo	mgFe/L	0,1 / 0,04	0,14 / 0,04	0,16 / 0,03	0,08 / 0,04	0,13 / 0,04
mangan	mgMn/L	0,09 / 0,06	0,09 / 0,07	0,11 / 0,08	0,07 / 0,08	0,11 / 0,03
utlenialność	mgO_2/L	- / 1,91	2,46 / 1,89	2,42 / 1,90	2,65 / 1,74	- / 1,77

Uwaga! Liczby przed ukośnikiem oznaczają parametry po przepłynięciu wody przez filtr piaskowy, natomiast liczby za ukośnikiem w tej samej wodzie po przepłynięciu przez filtr piroluzytowy jako drugi stopień filtracji.

Tab. 5. Filtracja wody przez złoża z dodatkiem wyznaczonej dawki $KMnO_4$ równej $2,0\text{ g/m}^3$ i prędkością $v = 20\text{ m/h}$

Tab. 5. Filtration through beds with the addition of the determined $KMnO_4$ dose, equal to 2 g/m^3 , $v = 20\text{ m/h}$

		dawka $2\text{ g KMnO}_4/\text{m}^3$, $v = 20\text{ m/h}$				
rodzaj oznaczenia	jedn.	piasek kwarcowy / zielony piasek				
		15 min	30 min	45 min	60 min	90 min
odczyn	pH	7,47 / 7,54	7,47 / 7,66	7,58 / 7,72	7,71 / 7,86	7,68 / 7,93
przewodn.	$\mu\text{S/cm}$	307 / 366	304 / 335	304 / 328	304 / 324	303 / 313
barwa	mgPt/L	34 / 13	43 / 13	55 / 16	78 / 15	82 / 16
mętność	NTU	0,25 / 0,22	0,47 / 0,17	0,72 / 0,19	1,12 / 0,23	1,26 / 0,16
jon amonowy	mgNH_4^+/L	0,91 / 0,21	0,94 / 0,32	0,97 / 0,36	1,01 / 0,39	1,02 / 0,45
żelazo	mgFe/L	0,11 / 0,03	0,14 / 0,02	0,21 / 0,03	0,39 / 0,02	0,43 / 0,02
mangan	mgMn/L	0,11 / nw	0,14 / nw	0,15 / nw	0,16 / nw	0,15 / nw
utlenialność	mgO_2/L	1,36 / 0,91	- / 1,16	1,71 / 1,04	- / 1,13	1,76 / 1,19

Uwaga! Liczby przed ukośnikiem oznaczają parametry po przepłynięciu wody przez filtr piaskowy, natomiast liczby za ukośnikiem w tej samej wodzie po przepłynięciu przez filtr z zielonego piasku jako drugi stopień filtracji.

Jak widać z tabeli 5 podczas przepływu wody przez filtr piaskowy uzyskano zamierzony efekt, to jest znaczące obniżenie stężenia żelaza. Dalsza filtracja przez złożo z zielonego piasku pozwoliła stwierdzić, że uzyskano bardzo dobrą skuteczność usuwania zarówno żelaza, manganu jak i amoniaku, ale barwa dalej oscyluje wokół wartości normatywnych.

Tab. 6. Filtracja wody przez złoża z dodatkiem wyznaczonej dawki $KMnO_4$ równej $2,0 \text{ g/m}^3$ i prędkością $v = 10 \text{ m/h}$

Tab. 6. Filtration through beds with the addition of the determined $KMnO_4$ dose, equal to $2 \text{ g/m}^3, v = 10 \text{ m/h}$

		dawka $2 \text{ g } KMnO_4 / \text{m}^3, v = 10 \text{ m/h}$				
rodzaj oznaczenia	jedn.	piasek kwarcowy / zielony piasek				
		15 min	30 min	45 min	60 min	90 min
odczyn	pH	7,42 / 7,51	7,42 / 7,55	7,43 / 7,62	7,48 / 7,66	7,47 / 7,67
przewodn.	$\mu\text{S/cm}$	309 / 315	310 / 312	308 / 310	307 / 312	308 / 316
barwa	mgPt/L	28 / 14	36 / 13	45 / 18	53 / 15	60 / 16
mętność	NTU	0,32 / 0,26	0,41 / 0,27	0,50 / 0,19	0,57 / 0,17	0,72 / 0,18
jon amonowy	mgNH_4^+/L	1,06 / 0,43	0,97 / 0,40	0,95 / 0,40	0,97 / 0,41	1,01 / 0,50
żelazo	mgFe/L	0,10 / 0,04	0,14 / 0,03	0,20 / 0,02	0,24 / 0,03	0,28 / 0,02
mangan	mgMn/L	0,15 / nw	0,14 / nw	0,16 / nw	0,15 / nw	0,14 / nw
utlenialność	mgO_2/L	1,46 / 0,98	- / 1,02	1,78 / 1,11	- / 1,25	1,94 / 1,20

Uwaga! Liczby przed ukośnikiem oznaczają parametry po przepłynięciu wody przez filtr piaskowy, natomiast liczby za ukośnikiem w tej samej wodzie po przepłynięciu przez filtr z zielonego piasku jako drugi stopień filtracji.

Tab. 7. Filtracja wody przez złoża z dodatkiem wyznaczonej dawki $KMnO_4$ równej $2,0 \text{ g/m}^3$ i prędkością $v = 5 \text{ m/h}$

Tab. 7. Filtration through beds with the addition of the determined $KMnO_4$ dose, equal to $2 \text{ g/m}^3, v = 5 \text{ m/h}$

		dawka $2 \text{ g } KMnO_4 / \text{m}^3, v = 5 \text{ m/h}$				
rodzaj oznaczenia	jedn.	piasek kwarcowy / zielony piasek				
		15 min	30 min	45 min	60 min	90 min
odczyn	pH	8,17 / 7,74	8,08 / 7,73	8,05 / 7,77	7,89 / 7,82	7,95 / 7,91
przewodn.	$\mu\text{S/cm}$	313 / 308	304 / 302	303 / 302	303 / 301	302 / 302
barwa	mgPt/L	38 / 14	35 / 13	37 / 15	36 / 16	38 / 16
mętność	NTU	0,30 / 0,14	0,27 / 0,15	0,29 / 0,15	0,26 / 0,16	0,29 / 0,14
jon amonowy	mgNH_4^+/L	0,81 / 0,48	0,85 / 0,49	0,90 / 0,44	0,84 / 0,45	0,93 / 0,41
żelazo	mgFe/L	0,10 / 0,02	0,07 / 0,02	0,08 / 0,02	0,07 / 0,02	0,07 / 0,03
mangan	mgMn/L	0,09 / 0,04	0,11 / 0,03	0,10 / 0,02	0,12 / 0,02	0,11 / 0,03
utlenialność	mgO_2/L	2,12 / 1,39	- / 1,33	2,32 / 1,65	- / 1,51	2,55 / 1,43

Uwaga! Liczby przed ukośnikiem oznaczają parametry po przepłynięciu wody przez filtr piaskowy, natomiast liczby za ukośnikiem w tej samej wodzie po przepłynięciu przez filtr z zielonego piasku jako drugi stopień filtracji.

Filtracja z prędkościami niższymi, to jest 10 m/h oraz 5 m/h pokazuje, że przy takiej wodzie wpływ prędkości filtracji nie ma zasadniczego znaczenia. Większy wpływ na końcowy efekt uzdatniania ma dawkowanie silnego utleniacza ($KMnO_4$) oraz rodzaj złoża odmanganiającego. Reasumując podstawowym wnioskiem z powyższych badań technolo-

gicznych jest stwierdzenie, że koniecznym jest zastosowanie filtracji dwustopniowej z uprzednim napowietrzeniem i dawkowaniem silnego utleniacza.

Niestety bez względu na prędkość filtracji nie uzyskano stabilnego obniżenia barwy wody poniżej wartości normatywnej. Wartość barwy oscylowała wokół 15 mgPt/L, co nie jest satysfakcjonujące, gdyż zmierzone wartości wahały się od 13 mgPt/L do 16 mgPt/L, przy normatywie 15 mgPt/L. Z tego względu wykonano dodatkowe badania polegające na przefiltrowaniu wody po filtrze z zielonym piaskiem przez filtr wypełniony węglem aktywnym Norit 0,8 Supra. Wyniki barwy uzyskane po tym procesie zostały zamieszczone w tabeli 8.

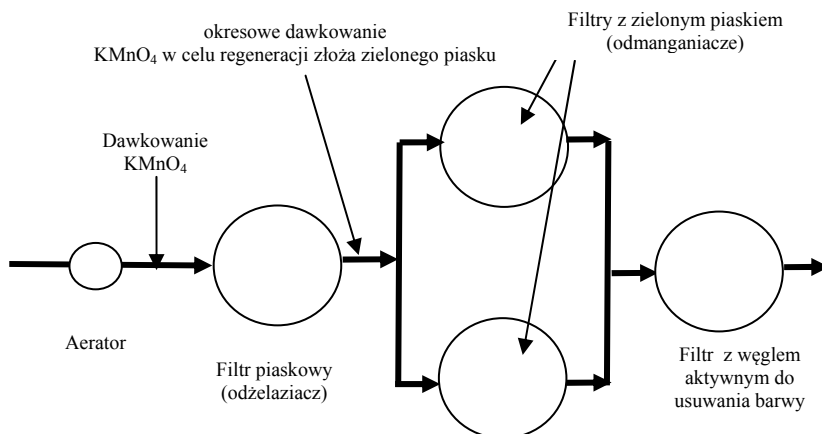
Tab. 8. Filtracja wody przez kolumnę wypełnioną węglem aktywnym, $v = 20$ m/h

Tab. 8. Filtration of water through the column filled with the activated coal, $v = 20$ m/h

rodzaj oznaczenia	jednostka	węgiel Norit 0.8 Supra				
		15 min	30 min	45 min	60 min	90 min
odczyn	pH	7,16	7,13	7,09	7,19	7,28
barwa	mgPt/L	1	0	1	0	2

Jak widać z tabeli 8 podczas przepływu wody przez kolumnę wypełnioną węglem aktywnym uzyskano zamierzony efekt tj. znaczące obniżenie intensywności barwy poziomu 0 – 2 mgPt/L, czyli znacząco niższego od normatywnego.

Patrząc na wyniki badań zawarte w tabeli 5 nasuwać się może wątpliwość celowości prowadzenia filtracji z prędkością równą 20 m/h. Było to działanie celowe, gdyż przy narzuconych obwarowaniach dotyczących jak najmniejszego zakresu rozbudowy stacji poszukiwano możliwości przy wykorzystaniu stojących w stacji 4 filtrów i realizowania filtracji trójstopniowej. Proponowany układ przedstawiony w formie skrótovej na rys. 2.



Rys. 2. Proponowany układ technologiczny stacji

Fig. 2. Proposed technological scheme of the water treatment plant

Zaproponowany układ okazał się skuteczny, tak że pozwolił na obniżenie wszystkich parametrów przekraczających wartości normatywne.

4. Podsumowanie

Niekonwencjonalne podejście do technologii uzdatniania wody w stacji Halasy pozwoliło zmodernizować ją przy niewielkich kosztach inwestycyjnych. W zaproponowanym układzie wykorzystując pozostawione 4 filtry uzyskano trójstopniową filtrację wykonując jedynie przeróbki w orurowaniu oraz wymieniając złoża.

Problemem eksploatacyjnym w analizowanym przypadku jest konieczność oddzielnego przygotowywanie roztworu KMnO_4 , przy wykorzystaniu wody podgrzanej. Zważywszy na fakt, że wydobywana woda ze studni wykorzystywana jest jako dolne źródło pompy ciepła jej temperatura obniża się do 3°C , Przy tej temperaturze kryształki KMnO_4 rozpuszczają się bardzo wolno.

Aby nie trzeba było modernizować układu płukania filtrów i wykorzystać istniejącą pompę płuczną zaproponowano węgiel aktywny o ziarnach od 1,5 – 2,0 mm. W takim przypadku krytyczne warunki płukania odnosiły się do zielonego piasku, dla którego zaproponowano niewielkie zdławienie przepływu.

Dla zabezpieczenia przed rozrostem bakterii na powierzchni węgla aktywnego przewidziano zastosowanie lampy dezynfekcyjnej UV.

Bibliografia

- [1] Kowal A., Świdorska-Bróz M. „Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia” Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2007
- [2] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. nr 61, poz. 417
- [3] Sozański M., Huck P. „Badania doświadczalne w rozwoju technologii uzdatniania wody” Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk vol. 42 Lublin 2007