INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/IV/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 217–227
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

EKSPERYMENTALNE BADANIA MĘTNOŚCI I SKUTECZNOŚCI NAPOWIETRZANIA WODY W AERATORZE RUROWYM WYPEŁNIONYM PIERŚCIENIAMI BIAŁECKIEGO

Marek Kalenik, Dariusz Morawski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

THE EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE TURBIDITY AND EFFECTIVENESS OF AERATING WATER IN PIPE AERATOR WITH THE BIAŁECKI RINGS

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wyników badań mętności i zawartości tlenu w wodzie po aeratorze rurowym. Pomiary mętności i zawartości tlenu w wodzie, przeprowadzono w warunkach technicznej eksploatacji stacji uzdatniania wody. Badania obejmowały aerator rurowy z pierścieniami Białeckiego ze stali nierdzewnej o średnicy 12 mm. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem przepływu powietrza przy danym przepływie wody, zawartość tlenu w wodzie i jej mętność wzrasta proporcjonalne. Natomiast wraz ze wzrostem przepływu wody przy danym przepływie powietrza, zawartość tlenu w wodzie i jej mętność maleje.

Słowa kluczowe: *stacja uzdatniania wody, aerator rurowy, mętność wody, napowietrzanie wody*

Summary

This article presents an analysis of results of the research on the turbidity and oxygen content in water after the pipe aerator. Turbidity and oxygen content in water, measurements was conducted in conditions of technical exploitation of water treatment plant. The research

embraced the pipe aerator with the Białecki rings which was made of stainless steel about the diameter of 12 mm. It was found that together with the growth of the flow of air at the given flow of water, the content of oxygen in water and her turbidity is increasing proportionally. However together with the growth of the flow of water at the given flow of air, the content of oxygen in water and her turbidity is decreasing.

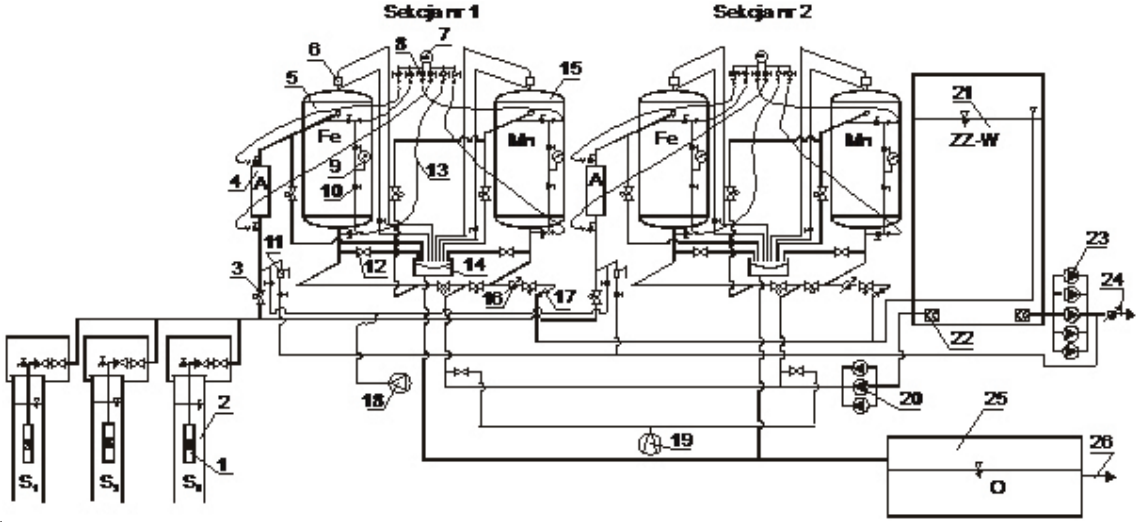
Key words: *water treatment plant, pipe aerator, turbidity water, aerating water*

WPROWADZENIE

Ze względu na występujący coraz większy deficyt wody, coraz częściej sięga się po wodę trudną do uzdatniania. W związku z tym, niezbędnym jest udoskonalanie urządzeń i metod uzdatniania wody do różnych celów gospodarczych oraz projektowania stacji uzdatniania wody o jak najmniejszej energochłonności przy największej wydajności.

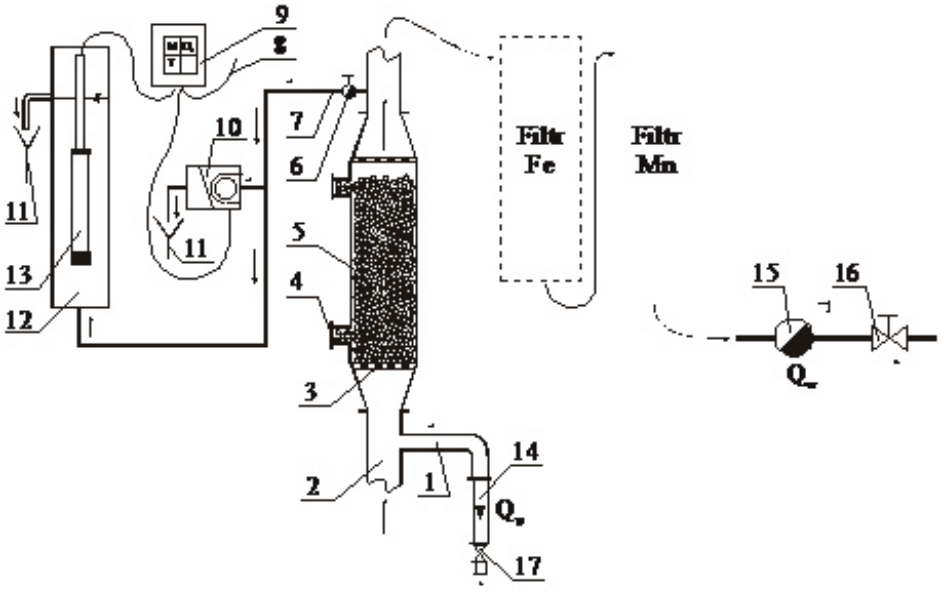
W dostępnej literaturze naukowo-technicznej niewiele jest informacji dotyczących badań skuteczności napowietrzania wody, hydraulicznych warunków pracy, zasad projektowania i eksploatacji aeratorów rurowych z pierścieniami Białeckiego [Heidrich, Roman, Tabernacki, Zakrzewski 1980, Kalenik, Morawski 2004, Kalenik, Morawski, Stańko 2006, Kalenik, Morawski 2007, Kalenik, Morawski 2009, Kowal, Świderka-Bróż 2005, Siwiec, Morawski, Zaleski 2003]. Zaletami aeratorów rurowych w stosunku do klasycznych są: mała przestrzeń zabudowy, dobra skuteczność napowietrzania wody i łatwa eksploatacja [Kalenik, Morawski, Stańko 2006]. Aeratory rurowe mogą być instalowane poziomo lub pionowo w ciągu rurociągów doprowadzających wodę do filtrów. Zalecane jest jednak instalować je pionowo, gdyż wówczas uzyskuje się lepsze napowietrzanie wody niż w aeratorach zainstalowanych poziomo [Siwiec, Morawski, Zaleski 2003].

W artykule przedstawiono analizę uzyskanych wyników badań mętności i zawartości tlenu w wodzie po aeratorze rurowym z pierścieniami Białeckiego. Badania przeprowadzono w warunkach technicznej eksploatacji stacji uzdatniania wody. Zakres badań obejmował aerator rurowy współprądowy z pierścieniami Białeckiego ze stali nierdzewnej o średnicy 12 mm.



Rysunek 1. Schemat stacji uzdatniania wody: 1-pompa głębinowa, 2-studnia wiercona, 3-automatyczny zawór do regulacji przepływu, 4-aerator, 5-filtr odżelaziający, 6-odpowietrznik kulowy, 7-elektroniczny miernik różnicy ciśnień, 8-zawór odcinający z końcówką impulsową, 9-manometr, 10-zawór odcinający, 11-strumienica do napowietrzania wody, 12-ręczny zawór do regulacji przepływu, 13-wężyki impulsowe, 14-spust do kanalizacji, 15-filtr odmanganiający, 16-elektroniczny przepływomierz, 17-ręczny zawór grzybkowy, 18-sprężarka, 19-dmuchawa powietrza, 20-pompy do płukania filtrów, 21-zbiornik zapasowo-wyrównawczy, 22-kosz ssawny, 23-zestaw hydroforowo-pompowy, 24-sieć wodociągowa, 25-osadnik popłuczyn, 26-sieć kanalizacyjna

Figure 1. Scheme of water treatment plant: 1-deep-well pump, 2-bored well, 3-automatic cut-off valve, 4-aerator, 5-iron remover, 6-ball vent, 7-electronic differential pressure meter, 8-cut-off valve with pulse connector, 9-manometer, 10-cutt-off valve, 11-jet pump for water aeration, 12 – manual cut-off valve, 13-pulse cable, 14 – drain to the sewage system, 15-manganese remover, 16-electronic flowmeter, 17-manual valve for flow control, 18-compressor, 19-air blower, 20-washing pumps, 21-reserve and compensating tank, 22-suction rose, 23-pressure booster unit, 24-water-pipe network, 25-washings settling tank, 26-sewerage system



Rysunek 2. Schemat aeratora rurowego w sekcji 1 wg rysunku 1 wraz z urządzeniami pomiarowymi: 1-rurociąg doprowadzający powietrze, 2-rurociąg doprowadzający wodę, 3-ruszt podtrzymujący pierścienie, 4-właz zamykający, 5-wypełnienie z pierścieni Białeckiego, 6-odcinający zawór kulowy, 7-wężyk doprowadzający wodę do czujnika mętności i sondy tlenowej, 8-kabel zasilający, 9-przetwornik typu SC 1000 (rejestrator danych), 10-czujnik mętności typu ULTRATURB plus sc, 11-spust do kanalizacji, 12-przezroczysty zbiornik, 13-sonda tlenowa typu LDO, 14-rotametr, 15-elektroniczny przepływomierz, 16-zawór grzybkowy, 17-zawór do regulacji powietrza

Figure 2. Scheme of pipe aerator in section no. 1 according to figure 1 together with measuring devices: 1-air supply pipeline, 2-water supply pipeline, 3-support rings grid, 4-lock plate, 5-Białecki rings filler, 6-stop valve, 7-cable supplying water to the sensor of the turbidity and the oxygen probe, 8-feeder cable, 9-converter type SC 1000 (data logger), 10-turbidity sensor type ULTRATURB plus sc, 11-drain to the sewage system,12-transparent container, 13-oxygen probe type LDO, 14 – rotameter, 15-electronic liquid flow meters, 16-valve for flow control, 17 – valve for air control

BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA STACJI UZDATNIANIA WODY

Naukowo-Badawcza Stacja Wodociągowa Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (N-BSW SGGW) jest w pełni zautomatyzowana i wyposażona w elektroniczne urządzenia kontrolno-pomiarowe firmy Endress+Hauser Sp. zo.o. i Hach Lange Sp. zo.o. Stacja uzdatniania wody produkuje wodę głównie dla kompleksu uczelnianego na Ursynowie. Ujmowana woda z utworów czwartorzędowych jest czerpana z trzech studni wierconych (rys. 1).

W wodzie surowej przekroczone są parametry żelaza i manganu [Kalenik, Morawski 2007]. W związku z tym parametry ujmowanej wody muszą być dostosowane do obowiązujących norm zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [2007].

Technologia uzdatniania wody, opiera się na napowietrzaniu wody w aeratorze i filtracji wody przez złoże z piasku kwarcowego w odżelaziaczu, a następnie przepływa przez aktywne złoże z piasku kwarcowego w odmanganiaczu. Uzdatnianie wody odbywa się w dwóch ciągach (sekcja nr 1 i 2, rys. 1), zbudowanych z aeratora (A), filtru odżelaziającego (Fe), filtru odmanganiajacego (Mn), zakończonych zbiornikiem zapasowo-wyrównawczym (ZZ-W). W ciągu technologicznym do uzdatniania wody ujmowanej z utworów czwartorzędowych, średnica zainstalowanych aeratorów wynosi 0,2 m, długość 1,5 m, średnica pierścieni 12 mm, a miąższość zasypowa 0,75 m. Budowa filtrów odżelaziających i odmanganiających jest identyczna. Średnica wynosi 2,4 m. Miąższość złoża właściwego wynosi 1,0 m, a średnica ziaren od 0,8 mm do 1,2 mm. Natomiast miąższość warstwy podtrzymującej wynosi 0,3 m, a średnica ziaren od 5 mm do 15 mm.

Proces uzdatniania wody jest następujący (rys. 1). Woda ze studzien wierconych (2) o głębokości 30 m [Kalenik, Morawski 2007], pompami głębinowymi (1) jest tłoczona do aeratorów współprądowych (4) wypełnionych pierścieniami Białeckiego (rys. 2), w których następuje wymieszanie wody z powietrzem. Powietrze do aeratorów (rys. 1) może być wtłaczane za pomocą sprężarki (18) lub zasysane za pomocą strumienic (11) z wodą z układu pompowania drugiego stopnia. Mieszanina wodno-powietrzna z aeratorów przepływa do filtrów odżelaziających (5), w których na złożu kwarcowym następuj usuwanie żelaza z wody. Nadmiar powietrza wydostaje się przez odpowietrzniki kulowe (6), zamontowane w górnej dennicy filtrów. Następnie woda z filtrów

odżelaziających przepływa do filtrów odmanganiających (15), w których na uaktywnionym złożu kwarcowym następuje usuwanie manganu z wody. Woda uzdatniona po filtrach jest tłoczona do zbiornika zapasowo-wyrównawczego (21), z którego za pomocą zestawu hydroforowo-pompowego (23) tłoczona jest do sieci wodociągowej (24).

Płukanie filtrów (rys. 1) odbywa się najpierw powietrzem tłoczonym do układu dmuchawą powietrza (19), a następnie wodą uzdatnioną tłoczoną pompami płucznymi (20) ze zbiornika zapasowo-wyrównawczego (21). Popłuczyny z poszczególnych filtrów są kierowane do spustów kanalizacyjnych (14) i dalej do osadnika popłuczyn (25), w którym następuje sedymentacja osadów żelaza i manganu wypłukanych z filtrów. Woda nadosadowa z osadnika odprowadzana jest do sieci kanalizacyjnej (26). Poszczególne filtry płukane są pojedynczo z częstotliwością w zależności od stopnia ich zakolmatowania. Częściej są płukane filtry odżelaziające, ponieważ zawartość żelaza w wodzie surowej jest osiem razy większa niż manganu [Kalenik, Morawski 2007].

METODYKA BADAŃ

Badania mętności i zawartości tlenu wodzie po aeratorze z pierścieniami Białeckiego wykonywano dla pierścieni czystych po płukaniu mechanicznym aeratora. Płukanie mechaniczne wykonywano zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w publikacjach [Kalenik, Morawski, Stańko 2006, Kalenik, Morawski 2007]. Pomiary mętności wody (rys. 2), wykonywano za pomocą czujnika mętności typu ULTRATURB plus sc (10), a zawartości tlenu w wodzie oznaczono za pomocą sondy tlenowej typu LDO (13). Wyniki pomiarów rejestrowano przetwornikiem typu SC 1000 (9). Do pomiarów zastosowano aparaturę przemysłową firmy Hach Lange Sp. zo.o.

Przed rozpoczęciem każdej serii pomiarowej za pomocą rotametru (14) i zaworu do regulacji powietrza (17), ustawiano odpowiedni przepływu powietrza Q_p i za pomocą ręcznego zaworu grzybkowego (16) zadawano przepływy wody Q_w, który odczytywano z elektronicznego przepływomierza (15). Po ustabilizowaniu się mętności i zawartości tlenu w wodzie napowietrzonej odczytywano z wyświetlacza rejestratora (9) mętność i zawartość tlenu O_2 w wodzie napowietrzonej. Pomiary mętności i zawartości tlenu O_2 w wodzie napowietrzonej przeprowadzono dla przepływów powietrza Q_p z zakresu od 0,4 $Nm^3 \times h^{-1}$ do 4,0 $Nm^3 \times h^{-1}$ z interwałem, co 0,2 $Nm^3 \times h^{-1}$ i przepływu wody Q_w

z zakresu od 5,0 $m^3 \times h^{-1}$ do 40,0 $m^3 \times h^{-1}$ z interwałem co 5,0 $m^3 \times h^{-1}$. Dla każdego zadanego przepływu powietrza Q_p i Q_w wykonano po trzy serie pomiarowe, a otrzymane wyniki pomiaru mętności i tlenu O_2 uśredniono. Temperatura wody napowietrzonej w trakcie przeprowadzanych pomiarów mętności i tlenu wynosiła średnio 12,3 °C.

WYNIKI I DYSKUSJA

Usuwanie z wody żelaza polega na utlenieniu rozpuszczonych związków żelaza na +2 stopniu utlenienia do nierozpuszczalnych związków żelaza na +3 stopniu utleniania, a następnie usunięcie z wody tych nierozpuszczalnych związków żelaza w procesie filtracji. Proces utleniania żelaza, zawartym w powietrzu tlenem zachodzi zgodnie z reakcją [Nawrocki, Biłozora 2000]:

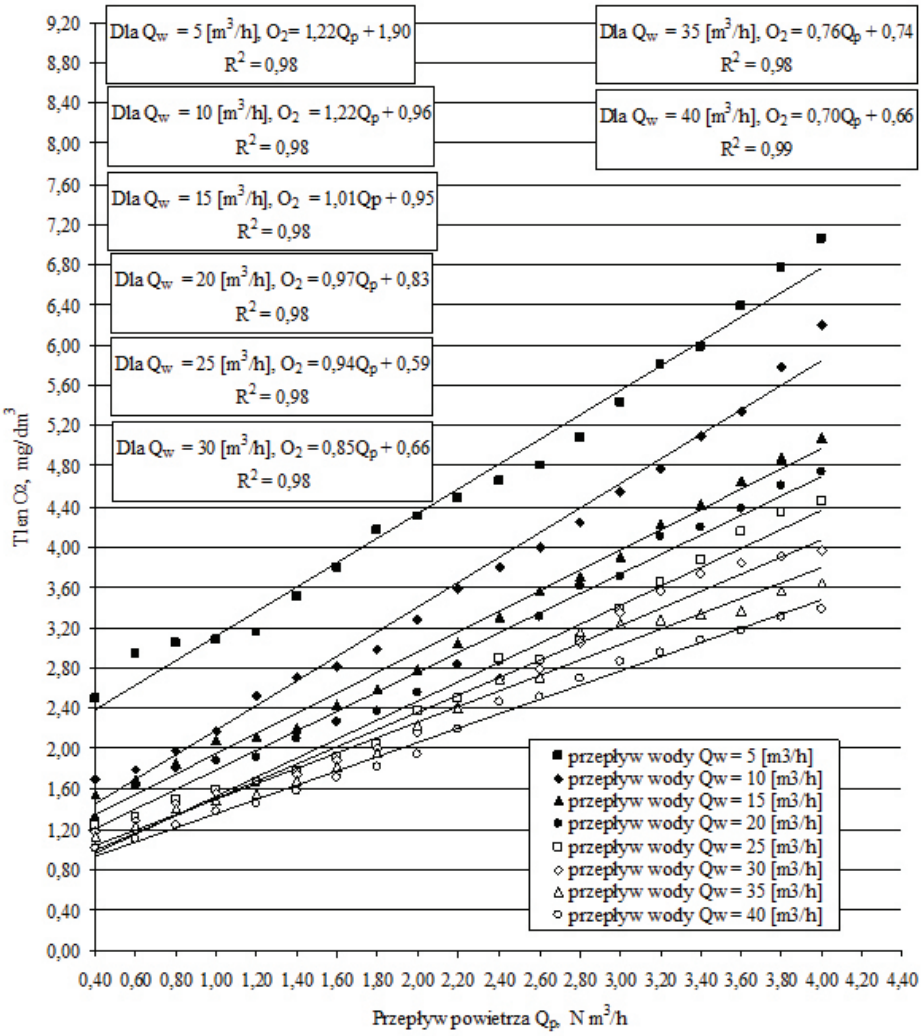
$$4Fe^{+2} + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+$$

Wytworzony nierozpuszczalny koloid wodorotlenku żelaza $Fe(OH)_3$, (czyli rdzy) powoduje mętność wody i wpływa niekorzystnie na jej smak. Analizując wyniki zawartości tlenu w wodzie po aeratorze (rys. 3) można stwierdzić, że poszczególne punkty pomiarowe, układają się blisko siebie tworząc wyraźne linie trendu dla poszczególnych interwałów przepływu wody. Zaobserwowany trend najlepiej opisuje model matematyczny w postaci funkcji liniowej. Linie trendu dla poszczególnych interwałów przepływu wody układają się prawie równolegle względem siebie. Wraz ze wzrostem przepływu wody, odległość między nimi stopniowo maleje.

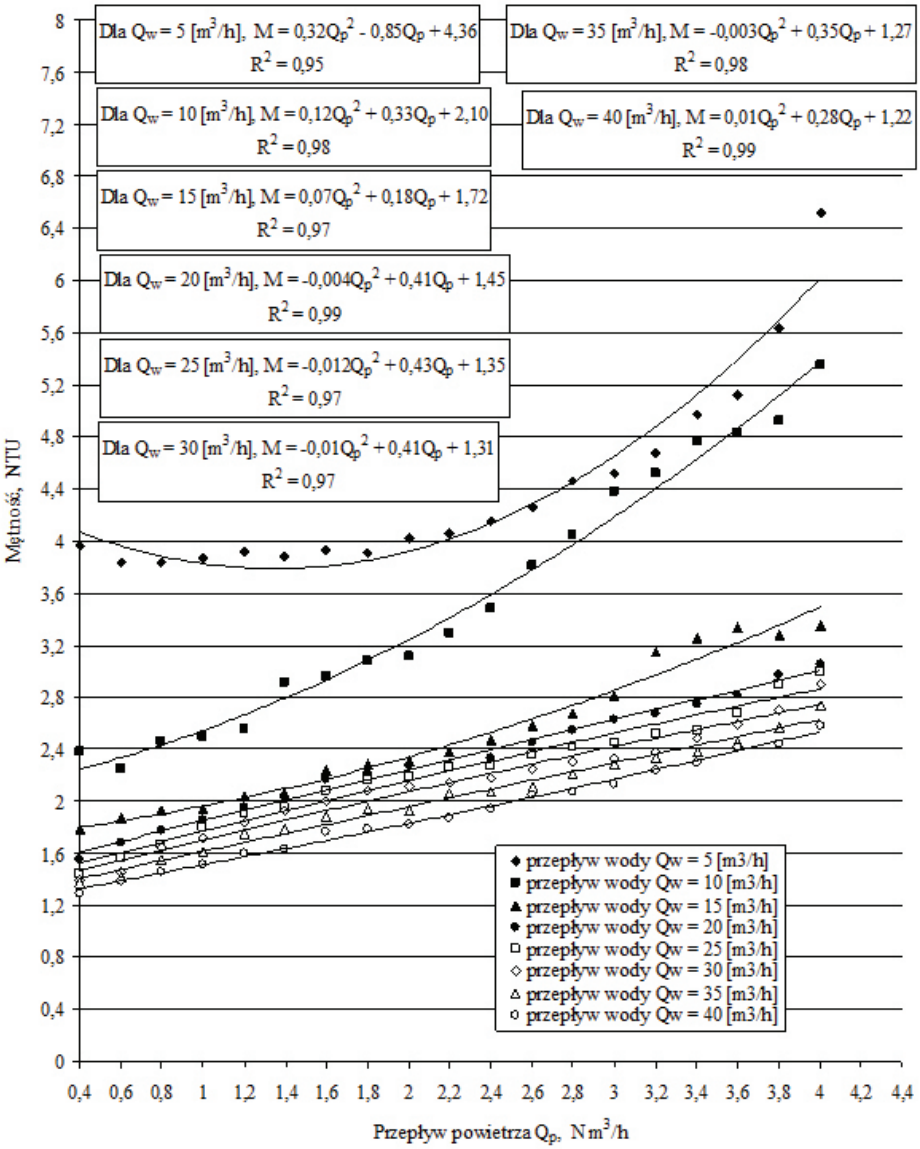
Współczynnik determinacji z próby R^2 dla poszczególnych linii trendu wyniósł 0,98; oznacza to, że zawartość tlenu O_2 w wodzie w 98% zależy od przepływu powietrza Q_p i przepływu wody Q_w, a tylko w 2 % zależą od innych parametrów.

Analizując stopień mętności w wodzie po aeratorze (rys. 4) można również stwierdzić, że poszczególne punkty pomiarowe, układają się blisko siebie tworząc wyraźne linie trendu dla poszczególnych interwałów przepływu wody. Zaobserwowany trend najlepiej opisuje model matematyczny w postaci funkcji wielomianu drugiego stopnia. Linie trendu dla poszczególnych interwałów przepływu wody układają się prawie równolegle względem siebie. Wraz ze wzrostem przepływu wody do 15 m^3/h, odległość między nimi stopniowo maleje, natomiast powyżej 15 m^3/h, odległość między nimi jest stała.

Współczynnik determinacji z próby R^2 dla poszczególnych linii trendu waha się od 0,95 do 0,99 i średnio wyniósł 0,97; co znaczy, że mętność wody średnio w 97% zależy od przepływu powietrza Q_p i przepływu wody Q_w, a tylko w 3 % zależą od innych parametrów.



Rysunek 3. Wyniki pomiaru tlenu
Figure 3. Results of the measurement of oxygen



Rysunek 4. Wyniki pomiaru mętności
Figure 4. Results of the measurement of turbidity

Po przeprowadzeniu analizy wyników badań można stwierdzić, że wraz ze wzrostem przepływu powietrza przy danym przepływie wody, zawartość tlenu w wodzie i jej mętność wzrastają proporcjonalne w badanym zakresie. Natomiast wraz ze wzrostem przepływu wody przy danym przepływie powietrza zawartość tlenu w wodzie i jej mętność maleje.

Przeprowadzone badania pokazują jak olbrzymie znaczenie ma wielkość przepływu wody i powietrza na jej natlenianie w aeratorze. Im większy mamy przepływ wody w aeratorze tym występuje większa prędkość przepływu i krótszy czas kontaktu wody z powietrzem, co przejawia się mniejszą zawartością tlenu w wodzie. W związku z tym, należy tak projektować aeratory do napowietrzania wody, aby czas kontaktu wody z powietrzem był jak najdłuższy, a straty hydrauliczne jak najmniejsze.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pokazują, że po aeratorze rurowym nastąpił wyraźny wzrost mętności wody, co wskazuje na wytrącanie się wodorotlenku żelaza $Fe(OH)_3$, już w aeratorze, a nie na złożu odżelaziającym lub bezpośrednio przed nim. Świadczy to, że woda ujmowana z utworów czwartorzędowych charakteryzuje się w tym przypadku szybkim przebiegiem reakcji utleniania żelaza.

Szybki przebieg reakcji utleniania żelaza spowoduje, że wytrącony wodorotlenek żelaza $Fe(OH)_3$ będzie oklejał stalowe pierścienie w aeratorze rurowym powodując jego stopniową kolmatację. Postępujący proces kolmatacji aeratora, będzie objawiał się zmniejszającym się przepływem wody pobieranej ze studni i wzrostem oporów hydraulicznych w aeratorze. Odkładający się w pierścieniach aeratora wodorotlenek żelaza $Fe(OH)_3$, będzie powodował, że ciśnienie wody w aeratorze będzie wzrastać, co w konsekwencji może doprowadzić do jego uszkodzenia np. pęknięcia.

Aby nie dopuścić do uszkodzenia aeratora rurowego, należy regularnie raz na miesiąc wykonywać mechaniczne płukanie pierścieni i raz w roku umyć je w roztworze kwasu szczawiowego, który przywróci im początkowy stan. Częstotliwość płukania pierścieni jest proporcjonalna do objętości przefiltrowanej wody.

BIBLIOGRAFIA

Heidrich Z., Roman M., Tabernacki J., Zakrzewski J. (1980). Urządzenia do uzdatniania wody. Zasady projektowania i przykłady obliczeń. Warszawa: Wyd. Arkady.

Kalenik M., Morawski D. (2004). Badanie oporów hydraulicznych wybranych urządzeń do uzdatniania wody. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, nr 4. Warszawa: Wyd. BIGRAF.

Kalenik M., Morawski D., Stańko G. (2006). Experimental investigation of hydraulic resistance in pipe aerators. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Civil Engineeering, Issue 4, Volume 9. Warocław: Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Kalenik M., Morawski D. (2007). Badanie strat hydraulicznych i skuteczności napowietrzania wody w aeratorze rurowym. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 12. Warszawa: Wyd. SIGMA NOT.

Kalenik M., Morawski D. (2009). Badanie skuteczności napowietrzania wody w aeratorze rurowym. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 2. Warszawa: Wyd. SIGMA NOT.

Kowal A.L., Maćkiewicz J. Świderka-Bróż M., (1998). Podstawy projektowania systemów oczyszczania wód. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

Kowal A.L., Świderka-Bróż M. (2005). Oczyszczanie wody. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.

Siwiec T., Morawski D., Zaleski K. (2003). Badania efektywności napowietrzania wody w aeratorach rurowych przy wykorzystaniu pierścieni Białeckiego. Instal, nr 2. Warszawa: Wyd. Ośrodek Informacji □Technika instalacyjna w budownictwie□.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia (2007). Z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. Nr 61, poz. 417. Warszawa: KPRM.

Nawrocki J., Biłozora S. (2000). Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne. Warszawa-Poznań: Wyd. Naukowe PWN.

Dr inż. Marek Kalenik
mgr inż. Dariusz Morawski
Katedra Inżynierii Budowlanej, Zaklad Wodociągów i Kanalizacji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa
marek_kalenik@sggw.pl