

Wojciech GÓRA, Katarzyna JASZCZYSZYN,
Marek M. SOZAŃSKI, Marcin ŚLĄSKI

*Instituut Inżynierii Środowiska
Politechnika Poznańska*

ODNOWA WÓD PRALNICZYCH NA PRZYKŁADZIE ZAKŁADU FHU MEDIJ W PĘPOWIE

A CASE STUDY ON THE RECYCLING OF LAUNDRY WATER BASED ON THE FHU MEDIJ IN PĘPOWO

The article presents the results of research and testing of a new technology of water recycling in the case of FHU MEDIJ laundry in Pępowo. Studies were performed in pilot scale and included processes such as: biological treatment, flocculation, ozonation, coagulation and filtration. The results allowed to develop a wastewater treatment technology and re-use water in the laundering cycle for the main wash and first rinse processes. The technology was implemented in 2011 in the FHU MEDIJ. The water quality results were compared with the results of other technologies published in scientific journals.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach można zaobserwować zwiększające się zapotrzebowanie na wodę aglomeracji wiejskich. Fakt ten związany jest z migracją ludności z dużych miast do miejscowości podmiejskich. Jeśli dodatkowo uwzględni się często ograniczony dostęp do zasobów wodnych oraz rosnące koszty związane z gospodarką wodno-ściekową realizowaną przez lokalne przedsiębiorstwa wodno-kanalizacyjne, to koniecznością staje się zamykanie obiegu wody w zakładach przemysłowych lokalizowanych na takich obszarach. Stosowanie systemów odnowy wód może znacznie obniżyć koszty prowadzenia działalności, zwłaszcza w usługach i przemyśle wodochłonnym. Działania takie zwiększają jednocześnie konkurencyjność na rynku i sprzyjają ochronie środowiska.

W niniejszej pracy opisano nową technologię odnowy wód pralniczych w zakładzie FHU Medij w Pępowie k/Gostynia. Technologia ta została opracowana na podstawie wyników przeprowadzonych badań systemu w skali pilotowej i wdrożona w 2011 roku.

Konfiguracja procesów technologicznych odnowy wód realizowanych w zakładzie wynika z charakterystyki wód zużytych oraz wymagań stawianych wodzie uzdatnionej. W opracowanej technologii wykorzystano zarówno biologiczne metody oczyszczania ścieków jak i metody oraz procesy fizycznochemiczne tj.: flotację, koagulację, ozonowanie, filtrację oraz promieniowanie UV. Zestawienie tych procesów jednostkowych

pozwoili na odnowę wody w stopniu pozwalającym na jej powtórne wykorzystanie do prania zasadniczego i płukania wstępnego z możliwością rozbudowy systemu do zakresu umożliwiającego powtórne wykorzystanie wody w całym cyklu prania.

2. Technologia prania tekstyliów

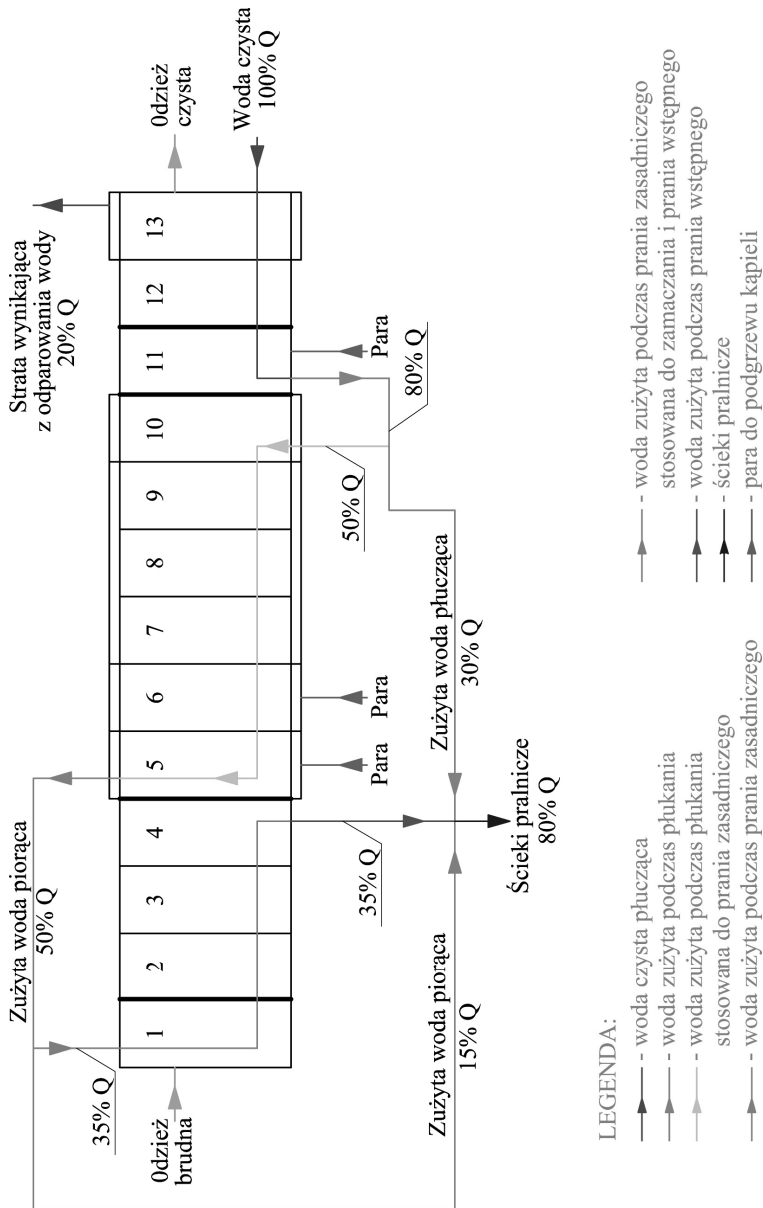
Proces prania polega na usuwaniu z wyrobów włókienniczych wszelkich zanieczyszczeń, które dostały się na te wyroby w trakcie użytkowania. Prawidłowo przeprowadzony proces prania musi spełniać dwa podstawowe wymogi:

- usunięcie z wyrobów włókienniczych substancji uważanych za zanieczyszczenia, w tym mikroorganizmów chorobotwórczych oraz reagentów używanych podczas prania,
- pozostawienie cech wyrobu, które posiadał przed rozpoczęciem użytkowania tj. odpowiedniej barwy, wytrzymałości oraz wyglądu.

Pierwotnie pralnie mechaniczne wyposażone były w pralnice bębnowe, które charakteryzowały się sekwencyjnym cyklem pracy. W celu zwiększenia przepustowości pralni przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia wody i reagentów, w latach sześćdziesiątych XX wieku powstała koncepcja budowy pralnicy tunelowej. W urządzeniach tego typu woda przepływa przeciwnie do kierunku prania w stosunku do pranej tkaniny. W ciągu 40 lat technologia prania tunelowego ulegała ciągłym udoskonaleniom. Dzięki temu współczesne pralnice tunelowe zużywają 4-10 litrów wody na 1 kg wsadu, podczas gdy pralnice bębnowe zużywają 10-20 litrów wody na 1 kg wsadu [5].

Konstrukcyjnie pralnica tunelowa składa się ze stalowego bębna, w którym wsad jest przesuwany przez śrubę Archimedesowa. Ze względów technologicznych procesu prania, pralnica tunelowa dzieli się na pięć sekcji: sekcję zamaczania, sekcję prania wstępnego, sekcję prania zasadniczego, sekcję płukania wstępnego oraz sekcję płukania końcowego. Poszczególne sekcje są tak skonstruowane, że wymieszanie wód podczas prania w sąsiednich sekcjach jest niemożliwe. Zasada prania w pralnicy tunelowej polega na przemieszczaniu wsadu od strefy zamaczania do strefy płukania. W strefach zamaczania i prania wstępnego nie następuje przepływ wody (tzw. kąpiel stojąca), natomiast w strefach prania zasadniczego i płukania przepływ wody jest przeciwnie do kierunku prania w stosunku do wsadu. Woda zużyta podczas płukania jest wykorzystywana do procesu prania zasadniczego, a woda zużyta podczas prania zasadniczego jest używana do prania wstępnego. Woda użyta do zamaczania odzieży jest pobierana z sekcji prania wstępnego i cechuje się najniższą jakością. W procesie prania stosowane są detergenty, wybielacze, korektory odczynu wody oraz dezynfektanty. Tekstylia po wypłukaniu poddawane są suszeniu, co generuje stratę wody wynoszącą 15-20% wody użytej w cyklu pralniczym. Biorąc pod uwagę konieczność częściowego odświeżania wody w obiegu w przypadku ponownego jej wykorzystania, maksymalna możliwa ilość zawracanej wody stanowi około 70% całkowitego zapotrzebowania.

Uogólniony schemat pralnicy tunelowej wraz z zaznaczeniem przepływów pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat pralnicy tunelowej wraz z przepływami wody

Fig. 1. Scheme of the tunnel washing machine within water flows

3. Wymagania stawiane wodzie do prania

Dostawcy środków piorących oraz eksploatatorzy zakładów pralniczych określają wymagania jakimi powinna odpowiadać woda stosowana w różnych etapach prania tekstyliów. Najbardziej zaostrzone są wymagania dotyczące stężenia żelaza, manganu oraz twardości wody. Te trzy parametry są odpowiedzialne za szarzenie i żółknięcie pranych tekstyliów oraz za zwiększone zużycie środków piorących, stąd ich koncentracja w użytej wodzie powinna być jak najmniejsza. Z tych powodów w pralniach stosuje się stacje uzdatniania wody wodociągowej bazujące na procesach wymiany jonowej. Niektóre z wymagań stawianych wodzie do płukania wstępnego i prania zasadniczego są obniżone względem wymagań stawianych wodzie do picia. Z tabeli 1 wynika, że dopuszczalna przewodność elektrolityczna wody do płukania wstępnego i prania zasadniczego, jest zdecydowanie wyższa od dopuszczalnej przewodności wody do picia, co pozwala na stosowanie kwasów mineralnych do obniżania odczynu wód pralniczych przed ich odnową na stopniu biologicznym.

Tab. 1. Wymagania dotyczące wody do spożycia oraz wody do prania

Tab. 1. Requirements for drinking water and water for laundering

Parametr	Jednostka	Woda do spożycia [6]	Woda do prania		
			Pranie zasadnicze	Płukanie wstępne	Płukanie końcowe
Odczyn pH	pH	6,5 - 9,5	6,5 – 9,5	6,5 – 9,5	6,5 – 9,5
Twardość	mg CaCO ₃ /l	60 - 500	<50	<50	<25
Zawiesina ogólna	mg/L	nn	<50	nn	nn
Mętność	NTU	<1,0	nn	<2,0	<1
Barwa	mg Pt/L	<15	nn	<45	<5
Żelazo	mg Fe/L	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Mangan	mg Mn/L	<0,05	<0,03	<0,03	<0,03
Azot amonowy	mg NH ₄ /L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Azotany	mg NO ₃ /l	<50	<50	<50	<50
Azotyny	mg NO ₂ /l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Przewodność	mS/cm	<2,5	nn	<4,0	<1,5
ChZT	mgO ₂ /l	nn	nn	<50	nn
Utlenialność	mgO ₂ /l	<5,0	nn	nn	<5,0

nn – parametr nienormowany

4. Charakterystyka ścieków pralniczych

Skład ścieków odprowadzanych z pralni ściśle zależy od rodzaju pranej odzieży oraz od stosowanych środków chemicznych. Do pralni MEDIJ przyjmowane są zabrudzone tekstylia z takich miejsc jak: szpitale, hotele, zakłady pracy (w tym huta), na których poza łatwo usuwalnym pyłem i błotem można zidentyfikować wiele innych substancji. Są to np. wydzieliny fizjologiczne, mikroorganizmy chorobotwórcze, oleje, czy też tłuszcze stałe. Poza tym w wodzie zużytej znajdują się rozpuszczone detergenty, środki wybielające, dezynfektanty i inne związki chemiczne. W tabeli 2 zestawiono średnie parametry wody zużytej po procesie prania. Stosunkowo wysoki odczyn pH ścieków pralniczych wynika z prowadzenia procesu prania w kąpeli alkalicznej, także stężenie fosforu jest ściśle związane z rodzajem stosowanych środków piorących. Pozostałe parametry są zależne głównie od rodzaju i pochodzenia pranych tekstyliów.

Tab. 2. Wartości średnie wskaźników zanieczyszczeń wody po procesie prania.

Tab. 2. The average values of indicators of water pollution in the laundry wastewater

Parametr	Jednostka	Wartość średnia z badań
Odczyn	pH	9,2
Mętność	NTU	60
Zawiesina ogólna	mg/l	450
Barwa	mg Pt/l	170
ChZT	mg/l	950
Fosfor ogólny	mg P/l	7
Azot ogólny	mg N/l	14
Przewodność elektrolityczna	μS/cm	1900

5. Technologie odnowy wód pralniczych

W ostatnich latach pojawiło się kilka publikacji na temat technologii odnowy wód pralniczych, w których stosowano z różnymi efektami zarówno procesy membranowe (MF, UF, OO); procesy fizyczno-chemiczne np.: koagulację, flokulację; procesy biologiczne (MBR), jak również ozonowanie [1, 2, 3, 4, 5].

W tabeli 3 zestawiono opublikowane wyniki badań pięciu technologii odnowy wód pralniczych wraz z podstawowymi parametrami charakterystycznymi wody nieuzdatnionej oraz wody odnowionej.

Tab. 2. Zestawienie charakterystyki różnych technologii odnowy wód pralniczych [1, 2, 3, 4, 5].

Tab. 2. Summary of the characteristics of different laundry water renewal technologies [1, 2, 3, 4, 5].

Parametr	Rodzaj próby/ Efektywność	T1	T2	T3	T4	T5
		MBR, MF, OO	K, F, O	K, FI, Ft, F, O, W, UF	K, FI, F, W	UF, OO
Odczyn pH	WN	10,8–11,5	7,8	7,2	9,6	9,6
Zawiesina ogólna [mg/l]	WN	-	-	166	35	35
	WO	-	-	2,5	< 5	8
	E [%]	-	-	98,5	> 85,7	77,1
Mętność [NTU]	WN	-	295	110	-	-
	WO	-	4	0,8	-	-
	E [%]	-	98,6	99,3	-	-
Barwa [mg pt/l]	WN	-	60	-	-	-
	WO	-	0	-	-	-
	E [%]	-	100	-	-	-
ChZT [mgO ₂ /l]	WN	700	658	602	280	280
	WO	<45	179	81	20	3
	E [%]	93,6	72,8	86,5	92,9	99,0

T_n – kolejne technologie odnowy wody, WN – woda nieodnowiona, WO – woda odnowiona, E – efektywność, MBR – membranowy reaktor biologiczny, MF – mikrofiltracja, OO – odwrócona osmoza, K – koagulacja, FI – flokulacja, Ft – flotacja, F – filtracja, O – ozonowanie, W – adsorpcja na węglu aktywnym, UF – ultrafiltracja.

Wyniki publikowanych badań zestawionych w tabeli 2 dotyczyły technologii odnowy wód zużytych o wartościach wskaźników zanieczyszczeń niższych niż w pralni odnotowywanych w pralni MEDIJ. Stan taki wynika z faktu świadczenia usług przez pralnię MEDIJ dla szpitali, oraz zakładów pracy (w tym huty), co determinuje ładunki zanieczyszczeń w wodzie zużytej.

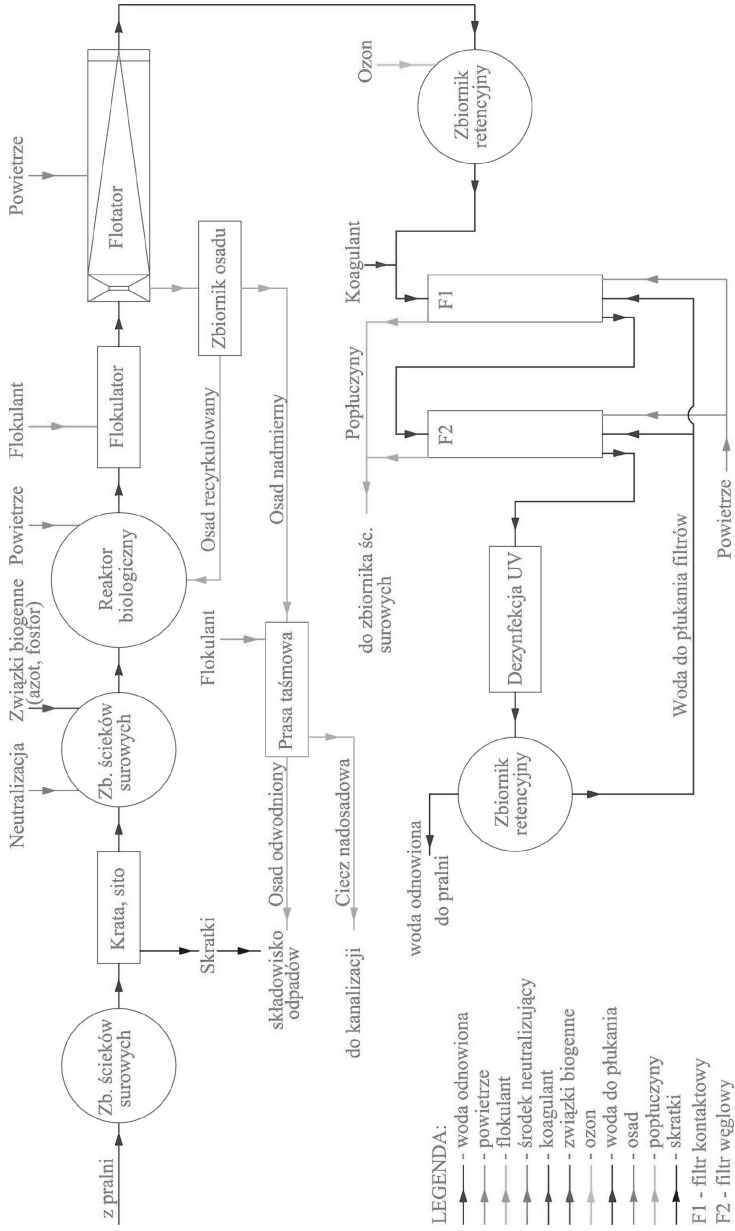
Zgodnie z wymaganiami określonymi w tabeli 1, tylko technologie T4 i T5 pretendują do pełnego wykorzystania wody odnowionej w cyklu pralniczym. Technologia T1 powinna również nadawać się zarówno do prania jak i płukania, jednak nie da się tego stwierdzić na podstawie opublikowanych wyników badań. Technologie T2 i T3 nadawać się mogą jedynie do odnowy wody do prania zasadniczego.

6. Technologia odnowy wody w FHU MEDIJ w Pępowie

Z uwagi na gorsze parametry wody zużytej odprowadzanej z zakładu FHU MEDIJ, niż ma to miejsce w publikowanych materiałach naukowych, oraz przy wymaganych parametrach wody odnowionej przedstawionych w tabeli 1, zdecydowano się na opracowanie nowej technologii odnowy wód pralniczych, która umożliwiłaby w najgorszym wypadku powtórne wykorzystanie wody do prania zasadniczego oraz płukania wstępnego. Przy konfigurowaniu procesów jednostkowych wyznaczono sobie również za cel możliwość przyszłej rozbudowy systemu o urządzenia pozwalające prowadzić pełną odnowę wody. Postawiono również hipotezę, na podstawie której mogłaby istnieć technologia odnowy wody, która pozwoliłaby usunąć z niej zanieczyszczenia z tekstyliów, mierzone jako zawiesina, barwa, i w dużej mierze ChZT, przy jednoczesnym częściowym zawróceniu tzw. chemii piorącej (np.: detergentów, czy też soli fosforanowych). Wydaje się, że dużo większy pozytywny wpływ na środowisko ma ograniczenie zużycia środków chemicznych, niż ilości odprowadzanych wód. Koncepcja taka wyklucza stosowanie zaawansowanych technik membranowych na strumieniu wody uzdatnianej do prania zasadniczego.

W zaproponowanym układzie technologicznym (rys. 2), woda zużyta poprzez kratę i sito cylindryczne dopływa do zbiornika uśredniającego. Wstępne urządzenia cedzące pozwalają na oddzielenie od wody zarówno większych części wleczonych np.: szmat, czy też pierza, jak również drobniejszych elementów stałych (np. guzików). W zbiorniku uśredniającym następuje proces neutralizacji. Proces ten jest konieczny przed wprowadzeniem wody na kolejny stopień odnowy – stopień biologiczny. Neutralizację wody prowadzić można w zależności od jej ostatecznego przeznaczenia, albo za pomocą kwasów mineralnych (np. kwasu siarkowego) lub też za pomocą dwutlenku węgla. Z uwagi na niekorzystny stosunek węgla do azotu i fosforu, konieczne jest dodawanie do wody biogenów, co realizowane jest również w zbiorniku uśredniającym. Ze zbiornika uśredniającego woda podawana jest do bioreaktora pracującego jako komora tlenowa z zawieszonym osadem czynnym. Osad czynny oddzielany jest od wody w systemie flotacyjnym po wcześniejszej flokulacji w komorze reakcji. Po oczyszczeniu biologicznym woda trafia poprzez ozonator do zbiornika pośredniego, z którego przetłaczana jest na dwa stopnie filtracji. Pierwszy stopień filtracji zaplanowany został jako filtracja kontaktowa na złożu antracytowym, drugi stopień docelowo będzie realizowany na węglu aktywnym. W pierwszym etapie realizacji systemu planowano realizację drugiego stopnia filtracji na drobnoziarnistym złożu kwarcowym. Ostatnim procesem jest dezynfekcja (drugiego stopnia po ozonowaniu) z wykorzystaniem promieniowania UV. W pierwszym etapie planowano odnowę 50% strumienia objętości wody do prania zasadniczego i płukania wstępnego. W drugim etapie możliwa będzie odnowa pozostałych około 20% wody z przeznaczeniem do płukania końcowego.

Powstające w systemie osady poflotacyjne mogą po ustabilizowaniu zostać wykorzystane rolniczo, natomiast wody popłuczne są kierowane z powrotem do zbiornika uśredniającego.



Rys.2. Schemat blokowy proponowanej technologii odnowy wód

Fig. 2. Block scheme of the new water recycling technology

7. Badania pilotowe technologii odnowy wód

Badania proponowanej technologii przeprowadzono na urządzeniach w skali pilotowej (max 1m³/d) na rzeczywistej wodzie z pralni MEDIJ, uśrednionej z doby. Przeprowadzone badania miały na celu głównie określenie parametrów prowadzenia poszczególnych procesów, zwłaszcza dobór rodzaju i dawek reagentów oraz wyznaczenie efektywności pracy systemu skonfigurowanego jak w pkt 6.

7.1. Neutralizacja i oczyszczanie biologiczne

Neutralizację ścieków prowadzono za pomocą kwasu siarkowego w zbiorniku o objętości 1m³ do poziomu pH umożliwiającego prawidłową pracę osadu czynnego. Do zbiornika dodawano również azot w postaci mocznika oraz okresowo ortofosforany w ilości koniecznej do uzyskania stosunku C:N:P wynoszącego 100:5:1. Następnie wodę przetłaczano przez okres 3h do sekwencyjnego reaktora biologicznego z osadem zawieszonym, stale napowietrzanym. Stężenie tlenu utrzymywano na poziomie ok. 3 mgO₂/l. Objętość bioreaktora wynosiła 1m³, przy wysokości czynnej 1m. Po czasie 20h zawartość bioreaktora flokulowano i po czasie 0,5h dekantowano ciecz nadosadową do zbiornika pośredniego. Cykle pracy bioreaktora krótsze niż 16h nie dawały efektów pozwalających na doprowadzenie parametrów wody na dalszych etapach odnowy do wymagań przedstawionych w tabeli 1, tj. do prania zasadniczego i płukania wstępnego w sposób ekonomicznie opłacalny. Proces biologiczny prowadzono przy stężeniu osadu czynnego wynoszącym 3,0 kg/m³ oraz obciążeniu ładunkiem ChZT na średnim poziomie 0,15 kgChZT/kg s.m. · d. Z bioreaktora woda trafiała do zbiornika pośredniego o objętości 1m³, w którym prowadzone były dalsze procesy odnowy.

7.2. Ozonowanie i koagulacja

W zbiorniku pośrednim prowadzono proces ozonowania za pomocą laboratoryjnego generatora ozonu. Optymalną ilość ozonu dawkowanego, wyznaczono w niezależnych testach laboratoryjnych i przyjęto jej wartość na poziomie 20gO₃/m³. Jest to dawka, przy której uzyskano obniżenie barwy do poziomu umożliwiającego wykorzystanie powtórne wody do prania zasadniczego i płukania wstępnego po procesach koagulacji i filtracji.

Do procesu koagulacji stosowano PAC w dawce wyznaczonej na podstawie testów laboratoryjnych wynoszącej 0,02 ml/l produktu technicznego. Z uwagi na znikoma dawkę reagenta, koagulację prowadzono w zbiorniku pośrednim, nie zaś na filtrze pospiesznym, jak to było w pierwotnym założeniu.

W dalszym etapie woda była podawana na dwustopniowy układ filtracyjny.

7.3. Filtracja pospieszna

Filtracja realizowana była na filtrach o średnicy 90 mm. Pierwszy stopień filtracji odbywał się na złożu antracytowym o głębokości 160cm i uziarnieniu od 1,4 mm do 2,5 mm, przy prędkości 5,0 m/h. Drugi stopień filtracji odbywał się na złożu o głębokości 140cm i uziarnieniu od 0,6 mm do 1,6 mm, przy prędkości 7,0 m/h. Pomędzy poszczególnymi stopniami filtracji znajdował się zbiornik o objętości 0,5 m³.

7.4. Wyniki badań

Średnie wyniki analiz wody odnowionej uzyskanej w skali pilotowej przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Średnie parametry wody z badań w skali pilotowej

Tab. 3. The average values of water parameters from the pilot scale tests

Parametr	Jednostka	Woda nieuzdatniona	Woda uzdatniona	Efektywność [%]
Odczyn	pH	9,2	7,4	–
Mętność	NTU	60	1,2	98
Zawiesina ogólna	mg/l	450	<10	>97,8
Barwa	mg Pt/l	170	<45	>74
ChZT	mgO ₂ /l	950	ok. 20	ok. 98%

7.5. Parametry jakościowe wody ze stacji odnowy (skala techniczna)

Opracowana technologia odnowy wód została wdrożona w 2011 roku i działa w pełnym zakresie poza ozonowaniem, które jest w fazie rozruchu. Obecnie woda jest w sposób ciągły powtórnie wykorzystywana do prania zasadniczego. Okresowo może być też wykorzystywana do płukania wstępnego pomimo trwającego rozruchu. W tabeli 3 przedstawiono wyniki analiz wody nieodnowionej i odnowionej dla tekstyliów hotelowych (mało zanieczyszczonych).

Tab.a 4. Parametry wody z próby chwilowej ze stacji w skali technicznej

Tab. 4. Water parameters of the sample from the technical scale plant

Parametr	Jednostka	Woda nieuzdatniona	Woda uzdatniona	Efektywność [%]
Mętność	NTU	-	<1	-
Barwa	mg Pt/l	-	28*	-
ChZT	mgO ₂ /l	540	22	96
BZT ₅	mgO ₂ /l	228	2,16	99
TOC	mg/l	138	15,9	88
Przewodność	uS/cm	1535	1081	30

* - bez ozonowania

8. Wnioski i uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz obserwacji wdrożonego systemu można stwierdzić, że:

1. Opracowana technologia pozwala na odnowę wody w zakresie umożliwiającym jej powtórne wykorzystanie do prania zasadniczego oraz do płukania wstępnego, co stanowi około 50% zapotrzebowania całkowitego na wodę,
2. Efekt został osiągnięty przy zastosowaniu względnie prostych procesów, które nie generują istotnych kosztów eksploatacyjnych, co pozwala na uzyskanie dodatniego bilansu ekonomicznego,
3. Zastosowany system odnowy wody pozwolił na zmniejszenie zużycia środków piorących. Obecnie realizowane są dokładne analizy składu wody odnowionej w zakresie zawartości poszczególnych związków piorących.
4. W celu uzyskania parametrów wody niezbędnych do płukania końcowego, należy zastosować dodatkowo adsorpcję na węglu aktywnym oraz prowadzić neutralizację wody za pomocą CO₂. Alternatywa jest zastosowanie odwróconej osmozy.

Należy zaznaczyć, że wszystkie badania przedstawione w artykule (poza wynikami technologii T1 w tabeli 2) były realizowane na wodzie nieodnowionej. W przypadku wody powtórnie wykorzystanej do prania, wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń mogą ulec pogorszeniu. Co wymaga dodatkowych badań w skali technicznej.

Bibliografia

- [1] Ciabatti I., Cesaro F., Faralli L., Fatarella E., Tognotti F. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Desalination* 245 (2009) 451–459;
- [2] Veliz E., Llanez J.G., Bataller M., Hernandez C., Fernandez I., Alvarez C. Evaluation of wastewater treatment technology for water reuse. *Ozone Research Center. Proceedings of 17th World Ozone Congress, Strasbourg, 2005*;
- [3] Sostar-Turk S., Petrinic I., Simoncic M.: Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resources, Conservation and Recycling*, 44 (2005) 185–196;
- [4] Hoinkis J., Panten V. Wastewater recycling in laundries – From pilot to large-scale plant. *Chemical Engineering and Processing*, 47 (2008) 1159–1164;
- [5] Bobák P., Pavlas M., Kšenzuliak V., Stehlík P. Analysis of Energy Consumption in Professional Laundry Care Process. *Chemical Engineering Transactions*, 21 (2010) 109 – 114;
- [6] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z dnia 6 kwietnia 2007) z późniejszymi zmianami.

