

dr hab. inż. Waldemar SAWINIAK prof. w Pol. Śl.^{1,2}
inż. Barbara KOTLARCZYK², mgr inż. Katarzyna NADOLSKA²
dr inż. Izabela ZIMOCZ^{1,2}, mgr inż. Marek CZECHOWSKI², inż. Maciej MATUSIAK²

¹ Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18

² Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A.
40-026 Katowice, ul. Wojewódzka 19

BADANIA W SKALI TECHNICZNEJ PRZY UŻYCIU RÓŻNYCH KOAGULANTÓW

Wstęp

Duży niedobór wody występujący w intensywnie rozwijającym się regionie Polski, jakim był Śląsk, spowodował po latach '60, '70 konieczność wybudowania oraz wcześniejszy rozruch stacji jeszcze w trakcie budowy (październik 1971r.). Stacja jest zaopatrywana w wodę z ostatniego zbiornika w kaskadzie rzeki Soły - zbiornika Czaniec, który jest zbiornikiem bardzo małym, płytkim i typowo przepływowym. Całkowita pojemność zbiornika przy piętrze niu maksymalnym wynosi 1,3 mln m³, a powierzchnia zalewu - 44,2 ha [2]. Zbiornik został wybudowany jako jeden z elementów ujęcia wody dla Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, Bielska Białej, Kęckiej Spółki Wodnej, zasilania stawów rybnych oraz wyrównywania przepływu w rzece Sole poniżej zapory.

Jakość wody zbiornika (2003 r.) pod względem fizyko - chemicznym odpowiada A₂ klasie czystości. Analiza bakteriologiczna wykazała, że wiosną i jesienią zbiornik należy zaliczyć do A₁ klasy czystości, natomiast latem do A₂ klasy jakości. W wodach zbiornika stwierdzono występowanie organizmów charakterystycznych dla wód czystych [2]. Krótki czas retencji wody powoduje, że w zbiorniku występują warunki niesprzyjające ujawnianiu się skutków procesu eutrofizacji [2].

Woda ze zbiornika "Czaniec" zaopatruje stację uzdatniania Kobiernice oraz Goczałkowice. Dla alternatywnego zasilania Goczałkowic (albo ze zbiornika Goczałkowice albo ze zbiornika Czaniec) pod koniec lat '70 zbudowano rurociąg do Goczałkowic. Woda z ujęcia (ujęcie lewarowe) przesyłana jest grawitacyjnie do tzw. Go-Cza II i oczywiście do Kobiernic.

Stacja Uzdatniania Wody „Czaniec” w Kobiernicach jest jednym z 11 zakładów GPW S.A. Katowice. W latach `70 i `80 produkcja wody kształtowała się na poziomie 300 000 m³/dobę. Obecnie produkcja mieści się w granicach 60 000 – 80 000 m³/dobę.

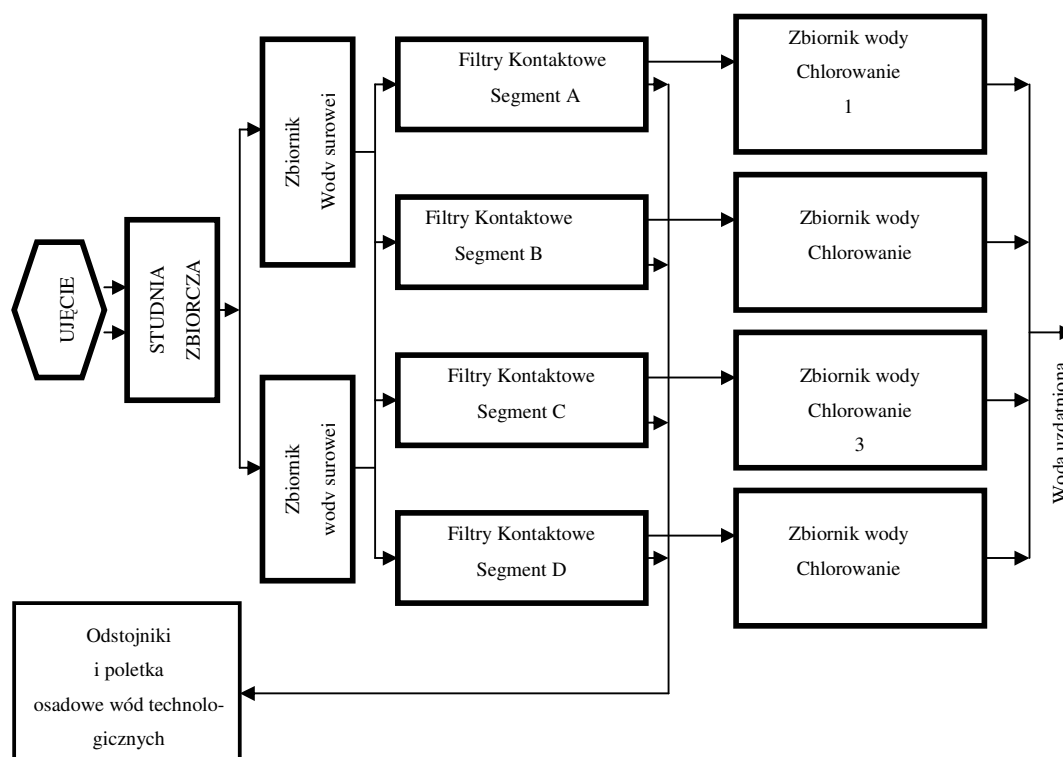
Po 35 latach pracy stacji zaistniała konieczność podjęcia prac badawczo-projektowych mających na celu przeprowadzenie celowej i racjonalnej modernizacji ciągu technologicznego uzdatniania wody. W planach modernizacyjnych uwzględniono modernizację komór filtracyjnych (32 komory) wraz z wymianą istniejącego systemu drenażowego na system typu LEOPOLD. Modernizacja procesu filtracji kontaktowej powinna obejmować zmianę drenażu na taki, który pozwala stosować płukanie powietrzem i wodą. Dotychczasowy drenaż kulowy nie pozwala na stosowanie powietrza do wstępnego płukania filtrów. Niezależnie od zmian systemu drenażowego należy zwiększyć skuteczność usuwania związków organicznych z wody (prekursorów THM-ów). Dla uzyskania dodatkowych efektów uzdatniania zaplanowano prace badawcze przy użyciu koagulantów wstępnie zhydrolizowanych. Wymaga to nowych, równoległych urządzeń do dozowania płynnych koagulantów.

SUW „Czaniec”

Woda z ujęcia (rys.1.) rurociągiem lewarowo-grawitacyjnym $\phi 1500$ mm o długości 2,9 km dopływa do pompowni centralnej stacji, w której znajdują się: pompy wody surowej (2 pompy diagonalne typu 80D-32 o wydajności $5800 \text{ m}^3/\text{h}$ i wysokości podnoszenia 21 m oraz 4 pompy diagonalne typu 60D-40 o wydajności $2800 \text{ m}^3/\text{h}$ i wysokości podnoszenia 20 m), pompy wody uzdatnionej (2 pompy diagonalne typu 80D-31 o wydajności $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ i wysokości podnoszenia 20 m oraz 3 pompy diagonalne typu 60D-40 o wydajności $2800 \text{ m}^3/\text{h}$ i wysokości podnoszenia 20 m), pompy wody płuczającej (3 pompy diagonalne typu 50D-22 o wydajności $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ i wysokości podnoszenia 35 m) oraz pompy tłoczące wodę czystą do budynku chlorowni. Ciąg technologiczny uzdatniania wody został podzielony na 4 jednostki, umożliwiające samodzielną lub łączną eksploatację. Woda surowa przepompowywana jest do 4 zbiorników wstępnych, w których następuje odpowietrzenie wody oraz sedymentacja grubszej zawiesiny.

Po 5 - 6 minutowym czasie zatrzymania wody w zbiornikach wstępnego jej uzdatniania, woda przepływa grawitacyjnie na filtry kontaktowe. Układ technologiczny obejmuje cztery niezależne segmenty po 8 piaskowych komór bliźniaczych o powierzchni filtracji 46 m^2 i łącznej wysokości złoża 2,5 m, wzajemnie współpracujących. Prędkość filtracji wynosi $5 \text{ m}/\text{h}$. Woda z koagulantem (siarczan glinu) dopływa do złożów filtracyjnych od dołu. W złożach zachodzi koagulacja i filtracja zawiesin. Filtry kontaktowe płukane są wodą chlorowaną z intensywnością $12 \text{ l}/\text{m}^2/\text{s}$ w czasie 8 - 10 min, czas wpracowania złoża filtracyjnego po płukaniu wynosi około 10 - 20 min. Woda w procesie filtracji przepływa przez złożę od dołu do góry, a na-

stepnie odpływa do rynny zbiorczej. Jedna rynna zbiorcza obsługuje równocześnie dwa bliźniacze złoża. Długość filtrocyklu waha się w zależności od jakości wody surowej od 8 h do 72 h (średnio 48 h). Popłuczyny z filtrów odprowadzane są grawitacyjnie kanałem ϕ 1500 mm na odstojniki zlokalizowane w dolinie rzeki Soły, a osady składowane są na poletkach odsączających [1].



Rys.1. Układ technologiczny SUW „Czaniec”

Układ technologiczny uzdatniania wody (rys. 1.) obejmuje:

- ujęcie wody;
- studnię zbiorczą;
- zbiorniki wody surowej;
- filtry kontaktowe (64 komory);
- zbiorniki wody czystej;
- odstojniki i poletka osadowe wód technologicznych.

Woda przefiltrowana odpływa grawitacyjnie do czterech zbiorników wody o pojemności sumarycznej 10 000 m³. W zbiornikach następuje półgodzinny kontakt wody z chlorem doprowadzonym w formie wody chlorowej z budynku chlorowni. Dezynfekcja od początku eksplo-

atacji stacji była prowadzona chlorem gazowym. W 2001 roku do eksploatacji została włączona nowa chlorownia, wyposażona w nowoczesną technologię wytwarzania wody chlorowej. Chlorownia ta nie jest uciążliwa w obsłudze, zawiera nowoczesną instalację neutralizacji chloru i wszelkie niezbędne zabezpieczenia ludzi i otoczenia przed niekontrolowaną emisją chloru. Sterownie i kontrola pracy urządzeń odbywa się automatycznie z możliwością sterowania ręcznego z dyspozytorni przylegającej do pomieszczenia wag oraz pomieszczenia chloraatorów. Woda uzdatniona ze zbiorników wody czystej wpływa do rurociągu żelbetowego ϕ 1500 mm Kobiernice – Urbanowice o długości 32,4 km, różnica wysokości na trasie wynosi 51 m, co umożliwia przeprowadzenie grawitacyjne rurociągiem ok. 2,5 m³/s wody. Po drodze do Urbanowic wodą z tego rurociągu zaopatrywane jest kilka miejscowości (~ 500 m³/h), a pozostała woda wpływa do zbiorników wyrównawczych na terenie przepompowni Urbanowice (o łącznej pojemności 18 300 m³), gdzie jest dochlorowywana podchlorynem sodu, następnie jest pobierana i przetłaczana pompami wysokiego ciśnienia do rurociągu stalowego ϕ 1400 mm o długości 11,8 km Urbanowice – Zbiorniki Mikołów, skąd tłoczona jest do sieci magistralnej aglomeracji śląskiej.

Proces koagulacji prowadzony z użyciem filtrów kontaktowych jest bardzo skutecznym i efektywnym procesem uzdatniania wody. Pozwala przy wykorzystaniu jedynie filtracji usunąć obecne w wodzie podstawowe zanieczyszczenia takie jak: mętność, barwa do poziomu wymaganego przez obowiązujące aktualnie przepisy. Jest przy tym znacznie bardziej ekonomiczny od układów koagulacji objętościowej zarówno na etapie inwestycji, jak i w czasie jego eksploatacji. Oszczędności w tym drugim przypadku związane są głównie z mniejszym zużyciem reagentów, a co za tym idzie mniejszymi kosztami przeróbki osadów pokoagulacyjnych. Oprócz wielu zalet filtry kontaktowe mają także pewne mankamenty. Najpoważniejszy to ograniczona zdolność przyjęcia ładunku zawieszin.

Reagentami, których mechanizm koagulacji jest odpowiedni dla przebiegu koagulacji „w złożu” są koagulanty wstępnie zhydrolizowane o wysokiej zasadowości. Ich zastosowanie w miejsce typowych koagulantów hydrolizujących jak np. siarczan glinu, pozwala na obniżenie dawek reagenta, uniezależnienie przebiegu koagulacji od czynników zewnętrznych (pH, temperatura) oraz zwiększa stabilności wody [1].

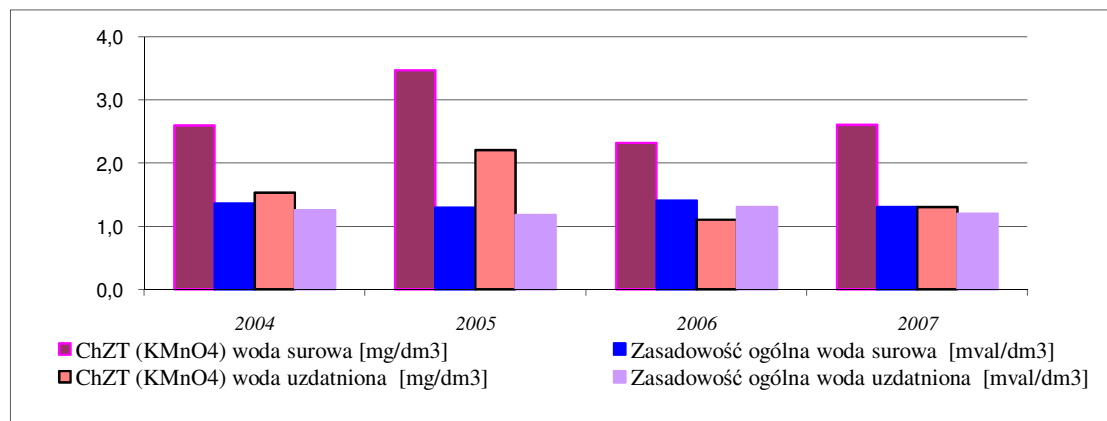
Jakość wody surowej

Woda surowa uzdatniania w SUW „Czaniec” ujmowana jest ze zbiornika Czaniec. Jej jakość kwalifikuje ją do grupy tzw. wód górskich. Wcześniej przedstawiano, że woda w zbiorniku

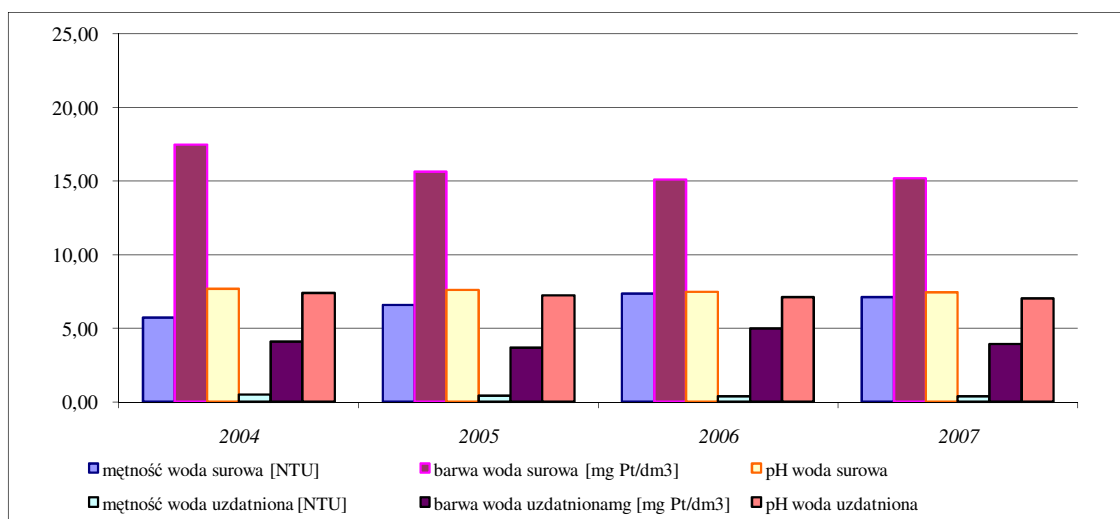
Czaniec jest II klasy czystości. Jednak okresowo następują znaczne zmiany jakości. Efektem gwałtownych opadów atmosferycznych lub topnienia śniegu jest pogarszająca się jakość wody szczególnie, jeżeli chodzi o mętność i barwę, czego następstwem są przymusowe postoje stacji. W latach 2001 - 2007 utlenialność wody surowej kształtowała się na poziomie 1,6 - 5,0 mgO₂/dm³. W tym okresie woda charakteryzowała się ponadto średnimi wartościami parametrów: pH-7,6 (zmienność 7,3 - 8,1), amoniak - 0,06 mgNH₄/dm³ (zmienność 0,02 - 0,15 mgNH₄/dm³), żelazo 0,10 mgFe/dm³ (zmienność 0,03 - 0,3 mgFe/dm³), mangan 0,07 mgMn/dm³ (zmienność 0,00 - 0,25 mgMn/dm³).

Tabela 1. Wybrane średnie roczne wartości wody surowej pobieranej do produkcji na stacji SUW „Czaniec” w latach 2004 - 2007

Oznaczenia	Jednostki	2004	2005	2006	2007
Temperatura	°C	2,2/10,4/19,4	1,6/8,9/18,5	1,4/10,7/20,0	2,8/11,0/21,7
Mętność	NTU	2,2/5,71/12,73	2,33/6,58/13,5	2,25/7,4/29,42	1,5/7,1/79,0
Barwa	mg/dm ³ Pt	13/18/21	10,8/16/19,6	10/15/26	10/15/60
Odczyn pH		7,5/7,7/7,9	7,3/7,6/7,9	7,3/7,5/7,6	7,1/7,5/8,6
Glin	mg/dm ³ Al	0,01/0,06/0,10	0,07/0,09/0,14	0,04/0,07/0,12	0,00/0,08/0,31
Mangan	mg/dm ³ Mn	0,03/0,07/0,20	0,00/0,06/0,11	0,03/0,1/0,2	0,02/0,09/0,36



Rys.2. Zmiany wartości wybranych parametrów w wodzie surowej i uzdatnionej w latach 2004 - 2007



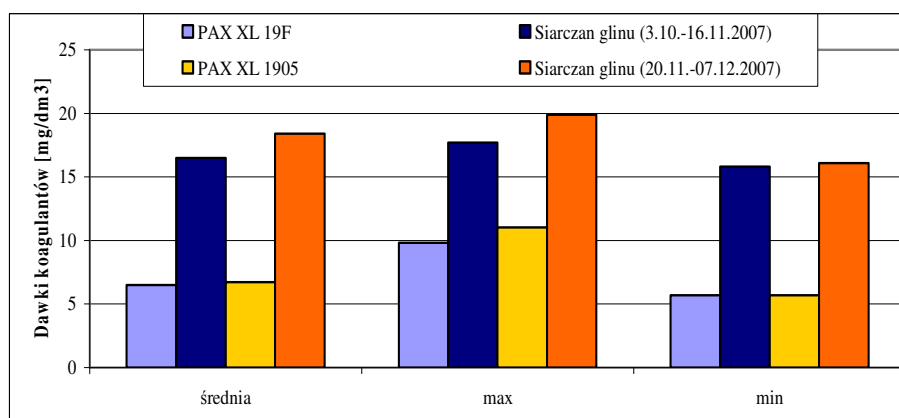
Rys.3 Zmiany wartości wybranych parametrów w wodzie surowej i uzdatnionej w latach 2004 – 2007

Cel i zakres badań w skali technicznej

Zasadniczym celem badań przy użyciu koagulantów PAX XL 19F oraz PAX XL 1905 było określenie skuteczności uzdatniania wody w odniesieniu do stosowanego siarczanu glinu. Badania przeprowadzono w wydzielonych czterech komorach filtracyjnych SUW „Czaniec” o łącznej powierzchni filtracyjnej 184 m². Poszczególne koagulanty dozowano do rurociągu zasilającego wytypowane cztery filtry kontaktowe. Prędkość filtracji wynosiła 4 m/h. Ponieważ doświadczenia wykonywano podczas normalnej eksploatacji stacji to pozostałe filtry kontaktowe uzdatniały wodę dodawanym siarczanem glinu. Prędkość filtracji podczas koagulacji siarczanem glinu również wynosiła 4 m/h. Pozwala to porównać stopień rozpuszczonych związków organicznych przy różnych koagulantach dla takiej samej wody surowej.

Dodatkowym aspektem badań z koagulantami typu PAX była ocena stopnia usunięcia glinu występującego w wodzie surowej i glinu pozostałego po procesie koagulacji. Należy nadmienić, że zastosowane koagulanty do doświadczeń w skali technicznej wybrano na podstawie wcześniej wykonanych testów w skali laboratoryjnej [3]. W trakcie badań dawki reagentów dostosowano do jakości wody surowej i oczekiwanego usunięcia barwy do wartości poniżej 15 mg/l i mętności poniżej 1 NTU. Stosowane dawki PAX-u 19F wynosiły 5,7 ÷ 9,8 g/m³, a PAX-u 1905 5,7÷11,0 g/m³ w przeliczeniu na produkt techniczny. W tym samym okresie dawki siarczanu glinu wynosiły odpowiednio:

- podczas stosowania PAX-u 19F dawki siarczanu glinu wynosiły od 15,8 do 17,7 g/m³,
- podczas badań z PAX-em 1905 dawki siarczanu glinu wynosiły od 16,1 do 19,9 g/m³.



Rys. 4. Porównanie dawek PAX XL 19F i PAX XL 1905 do siarczanu glinu podczas przeprowadzanych prób technicznych

Tabela 2. Własności chemiczne koagulantów

Koagulant	pH	Glin [%]	Tlenek glinu Al_2O_3 [%]	Chlorki [%]	Żelazo ogólne [%]	Zasadowość	OH/Al	Siarczany [%]
PAX XL 19F	4,0±0,5	8,5±0,3	-	5,5±0,5	-	-	-	-
PAX XL 1905	3,6±0,4	6,00±0,5	-	5,0±1,0	-	85±5	-	-
Siarczan glinu	-	9,2±0,2	17,2±0,2	-	max 0,01	-	-	-

Omówienie wyników badań

Podczas badań jakość wody surowej była typowa dla zbiornika w Czańcu. Wyniki istotnych wskaźników wody surowej przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry wody surowej w okresie przeprowadzanej próby technicznej.

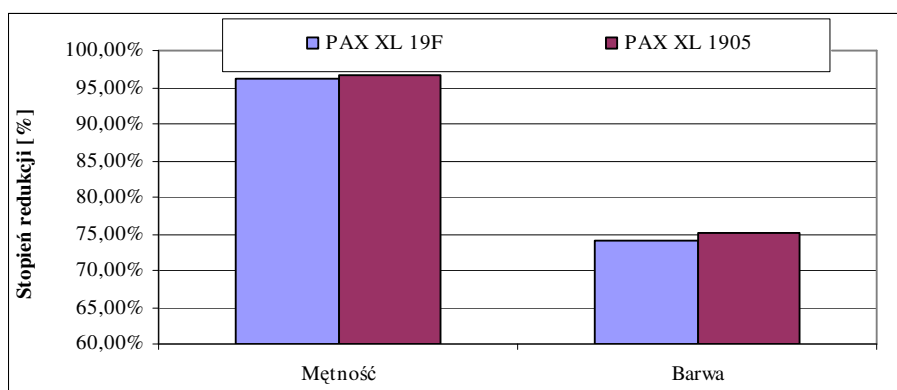
Oznaczenie	Jednostki	Minimum	Średnia	Maksimum
Mętność	NTU	7,8	11	13
Barwa	mgPt/dm ³	19	20	20
pH		7,2	7,3	7,5
Glin	mgAl/dm ³	0,08	0,11	0,15
Przenikalność UV przy długości fali 254 nm	Absorbancja	0,099	0,108	0,117
Przenikalność UV przy długości fali 272 nm	Absorbancja	0,084	0,095	0,11

Stwierdzono, iż aby uzyskać zadawalające efekty koagulacji wystarczyły o wiele mniejsze dawki wprowadzanego koagulantu, zarówno PAX XL 19F jak i PAX XL 1905 w stosunku do stosowanego na stacji siarczanu glinu (rys. 4).

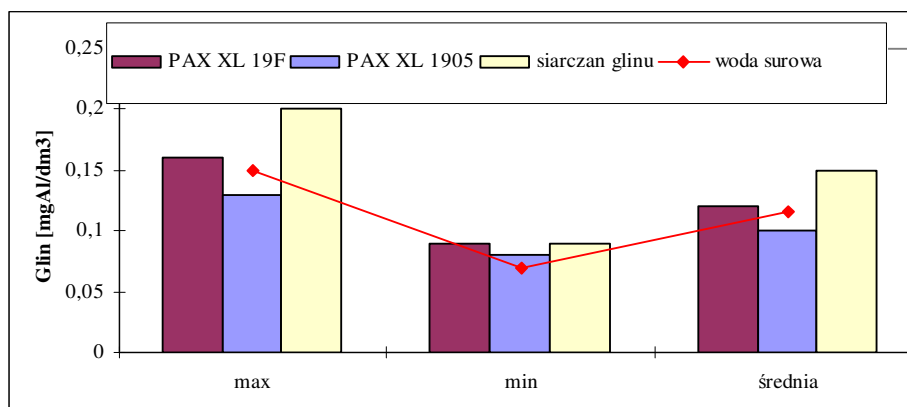
Ponadto parametry wody po obu koagulacjach (porównując PAX do siarczanu glinu) były podobne, a nawet niektóre niższe po PAX-ach. Stopień redukcji mętności w stosunku do wody surowej badanych koagulantów przedstawia tabela 4 oraz rys. 5. Wartości dwutlenku węgla po PAX-ach były niższe nawet o 40% w stosunku do siarczanu glinu. Również na korzyść reagentów z grupy PAX wskazywał procent redukcji w stosunku do wody surowej manganu, żelaza oraz azotynów. Także po koagulantach zhydrolizowanych występowały znacznie niższe wartości glinu pozostałego w wodzie filtrowanej niż po stosowanym na stacji siarczanie glinu. Dla PAX XL 19F średnia wartość glinu wynosiła 0,12 mg/dm³ co stanowi wartość mniejszą o 20% w stosunku do stosowanego na stacji siarczanu glinu, natomiast dla PAX XL 1905 średnio 0,10 mgAl/dm³ co stanowi wartość mniejszą o 33,33%. (rys. 6).

Tabela 4. Stopień redukcji mętności i barwy w stosunku do wody surowej

	PAX XL 19F	Siarczan glinu	PAX XL 1905	Siarczan glinu
Średni stopień redukcji mętności	97,31%	96,21%	97,76%	96,68%
Średni stopień redukcji barwy	74,23%	74,23%	75,00%	75,00%

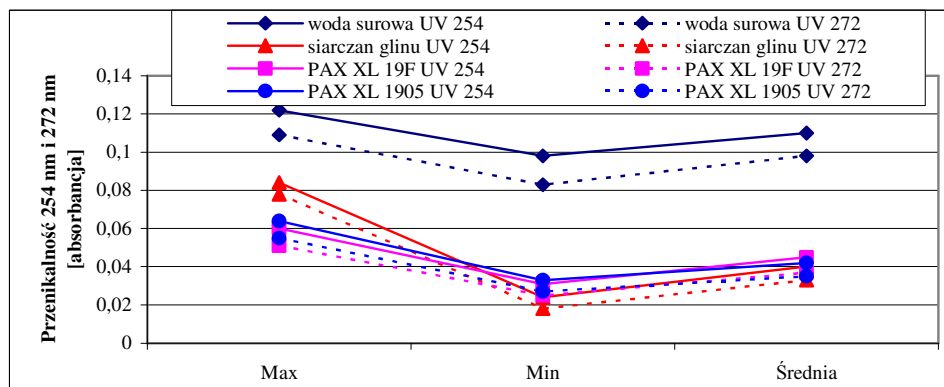


Rys. 5 Średni stopień redukcji mętności i barwy w stosunku do wody surowej podczas przeprowadzonych badań



Rys.6. Porównanie wartości glinu poszczególnych koagulantów do wody surowej podczas przeprowadzonych badań

Ocena stopnia usunięcia związków organicznych wyrażonych absorbancją w UV w przeprowadzonej próbie technicznej wykazała różnice w odniesieniu do absorbancji wody surowej. Wartości absorbancji w UV wody surowej wynosiły $UV_{254nm}^{1cm} - 0,110$; $UV_{242nm}^{1cm} - 0,098$. Zmniejszenie średniej wartości absorbancji w UV $_{254}$ wynosiło w przypadku PAX XL 19F 59,09%, PAX XL 1905 61,82% oraz siarczanu glinu - 63,64%. Podobne wartości odnotowano w przypadku absorbancji UV $_{272}$ (PAX XL 19F 62,24%, PAX XL 1905 64,29%, siarczan glinu 66,33%).



Rys. 7. Porównanie absorbancji przy długości fali 254 i 272 nm dla wody surowej oraz filtrowanej z różnymi koagulantami.

Wnioski

Badania wykazały, że zastosowanie w przyszłości koagulantów zhydrolizowanych będzie korzystne ze względu na wyeliminowanie dość uciążliwego procesu roztwarzania i przygotowywania siarczanu glinu do dozowania (PAX-y produkowane są w postaci gotowych roztworów).

Zastosowanie roztworów PAX-ów ograniczyłoby lub całkowicie wyeliminowało konieczność prowadzenia korekty pH wody nawet przy dużych dawkach koagulantów.

Badania potwierdziły, iż zawartość glinu w wodzie filtrowanej po zastosowaniu reagentów PAX jest o wiele niższa niż po stosowanym na stacji siarczanie glinu.

Zastąpienie siarczanu glinu jednym z badanych koagulantów wstępnie zhydrolizowanych pozwoliłoby na uzyskanie lepszej jakości wody uzdatnionej pod względem korozyjności. Nie obserwowano obniżania pH co ma stałe miejsce podczas stosowania siarczanu glinu.

Badania przeprowadzono w okresie zimowym (temperatura wody do produkcji mieściła się w zakresie od 3,1 do 9,6⁰C), dlatego też należałoby powtórzyć badania w okresie letnim przy wyższych temperaturach wody surowej.

Literatura

- [1] Dokumentacja Techniczna SUW Czaniec
- [2] K. Stachowicz, M. Czernoch „*Charakterystyka ekologiczna zbiorników zaporowych na Sole*” IGPIK Oddział Kraków 1992
- [3] I. Zimoch, B. Kotlarczyk „*Doświadczenia z zastosowania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych w SUW Czaniec jako narzędzie wytyczające kierunki modernizacji układu technologicznego*”, *Ochrona Środowiska* 3/2007