

POSZUKIWANIA EFEKTYWNIJSZYCH KOAGULANTÓW DO UZDATNIANIA WODY POWIERZCHNIOWEJ NA PRZYKŁADZIE UJĘCIA WODY PITNEJ DLA MIASTA GDAŃSK

Streszczenie

Referat przedstawia historię zmian w zastosowanych środkach do prowadzenia koagulacji na ujęciu wody powierzchniowej Straszyn, zaopatrującego w wodę pitną miasto Gdańsk. W referacie zawarte zostały główne przyczyny wprowadzanych zmian i cele do których dążono w trakcie realizacji poszukiwań i testów. Omówiono również efekty pracy oraz ich wpływ na dalsze przedsięwzięcia w dziedzinie optymalizacji procesu.

Wstęp

Koagulacja jest procesem zwiększającym tendencję małych cząstek zawieszonych i rozpuszczonych w wodzie do łączenia się w większe aglomeraty. W praktyce jest to złożony proces obejmujący wiele typów reakcji chemicznych i fizycznych, które układają się w trzy zasadnicze, następujące po sobie etapy: hydrolizę koagulantu, destabilizację układu oraz wzajemne zderzenia cząstek prowadzące do ich aglomeracji. Dwa pierwsze zachodzą już w momencie dozowania koagulantu do wody i w trakcie procesu szybkiego mieszania. Trzeci rozciąga się w czasie na etap flokulacji uzdatnianej wody. Zwiększenie ciężaru pojedynczych cząstek poprzez ich łączenie polepsza warunki sedymentacji, a co za tym idzie usuwania z oczyszczanego układu. Jest to niezbędny komponent procesu uzdatniania w wyniku którego usuwamy z wody zawarte w niej zanieczyszczenia nieorganiczne, ale także wirusy, bakterie i organizmy patogenne. Innym bardzo ważnym powodem stosowania koagulacji jest usuwanie naturalnej materii organicznej w celu ograniczenia tworzenia się ubocznych produktów dezynfekcji wody na dalszych etapach jej uzdatniania. Jednakże próba usunięcia zawartych w wodzie zanieczyszczeń pierwotnych, może i zwykle powoduje wprowadzenie do ośrodka zanieczyszczeń wtórnych, które w niektórych sytuacjach mogą stanowić większe zagrożenie niż pierwotnie

usuwane substancje. Dla procesu koagulacji, prowadzonego przy wykorzystaniu preparatów glinowych, typowym zanieczyszczeniem jest wprowadzany wraz z koagulantem glin, pozostający w układzie jako wynik hydrolizy dozowanych substancji. Jego zawartość w wodzie po procesie koagulacji może znacznie przekraczać dopuszczalne normy. W związku z tym konieczne jest jego usuwanie w dalszych etapach technologicznych.

Charakterystyka stacji uzdatniania wody powierzchniowej „Straszyn”

Ujęcie Wody „Straszyn” rozpoczęło pracę 03.VII.1986 r. Woda ujmowana jest z powstałego do celów energetycznych, sztucznego zbiornika Straszyn na rzece Raduni. Woda pobierana jest z jeziora za pomocą dwóch rurociągów i wprowadzana do komór rozdziału a następnie poprzez sita obrotowe przepływa do komór, które wykorzystywane są jako komory wstępnego napowietrzania w okresach deficytów tlenowych oraz komory kontaktowe w okresie dozowania nadmanganianu potasu wspomagającego usuwanie manganu z wody surowej. Dalej woda pompowana jest pompami I stopnia do komory ozonowania wstępnego, po czym przepływa do bloku koagulacji, gdzie kierowana jest na mieszacze szybkie przed którymi dozowany jest koagulant. Kolejno poprzez dwupoziomowe komory flokulacji wpływa do osadników poziomych. Po tym etapie uzdatniania woda filtrowana jest na filtrach żwirowych, po których kierowana jest do pompowni pośredniej i przepompowywana do komory ozonowania pośredniego. Kolejnym etapem jest filtracja na filtrach sorpcyjnych z węglem aktywnym, po których wpływa do zbiornika wody czystej. Na wlocie do zbiornika, do wody dozowane jest wapno hydratyzowane oraz jako dezynfektant dwutlenek chloru i chlor gazowy. Przed przepompowaniem wody do sieci miejskiej dozowany jest do niej inhibitor korozji.

Koagulanty stosowane na SUW Straszyn

Efektywność procesu koagulacji zależy od wielu zmiennych. Wpływa na nią szereg czynników wewnętrznych jak i zewnętrznych, wśród których wymienić należy:

- Rodzaj i charakter wody i zawartych w niej układów koloidalnych
- Wielkość cząstek rozproszonych ich stężenie oraz ładunek elektryczny
- Temperaturę
- Rodzaj i dawkę zastosowanego koagulanta;
- Odczyn i zasadowość;
- Skład chemiczny
- Parametry procesowe mieszania, flokulacji i sedymentacji

W zależności od kombinacji wartości tych czynników możemy uzyskać wodę o bardzo różnych parametrach jakościowych po zakończeniu procesu.

Saur Neptun Gdańsk SA prowadzi ciągłe poszukiwania nowych efektywniejszych koagulantów stosowanych do uzdatniania wody. Podyktowane jest to względami technicznymi, technologicznymi i ekonomicznymi. Poszukujemy optymalnych rozwiązań zmierzających do maksymalizacji efektów procesu uzdatniania przy zachowaniu akceptowalnego poziomu kosztów procesu. Równolegle prowadzimy ciągłe poszukiwania, mające na celu eliminację towarzyszących procesom koagulacji niekorzystnych zmian parametrów wody uzdatnionej, takich jak wprowadzane zanieczyszczenia wtórne czy wzrost korozyjności.

Od początku istnienia ujęcia wody i stacji uzdatniania Straszyn prowadzona jest tu koagulacja preparatami opartymi na jonach glinu. Pierwotnie zastosowany został siarczan glinu, ale kłopotliwa technologia przygotowania, stawiające wysokie wymagania bezpieczeństwa pracy przepisy BHP a przede wszystkim pojawienie się na rynku eliminujących wspomniane problemy koagulantów płynnych, spowodowały, że w roku 1997 po gruntownej modernizacji linii technologicznej siarczan glinu zastąpiono koagulantem PAX 16. W roku 2002 na podstawie prowadzonych wcześniej poszukiwań koagulanta o większej zasadowości a co za tym idzie mniejszym wpływie na wzrost agresywności korozyjnej wody, wprowadzony został po testach w skali technicznej, PAX XL 61. Natomiast w roku 2008 po serii prób laboratoryjnych i na wydzielonym ciągu technologicznym do uzdatniania wody wprowadzony został koagulant PAX XL 19 F.

Testy laboratoryjne

Droga do aktualnej technologii koagulacji, a więc wprowadzanie każdego nowego koagulanta zawsze poprzedzone było gruntownymi analizami i badaniami jego działania, począwszy od przeprowadzenia testów laboratoryjnych poprzez próby na części ciągu technologicznego wydzielonej specjalnie do tego celu.

Wstępne badania laboratoryjne, prowadzone są zgodnie z zasadami „testu naczyniowego” na flokulatorze przy parametrach ustalonych i odnoszonych zawsze do aktualnie stosowanego koagulanta. Próby prowadzone są zgodnie ze stałym powtarzalnym schematem, pozwalającym przy uwzględnieniu zmieniającej się jakości wody, na porównywanie wyników z różnych okresów.

Podstawowe parametry prowadzonych prób przedstawiają się następująco:

- czas mieszania szybkiego - 1 min
- czas flokulacji - 10 min
- czas sedymentacji - 30 min

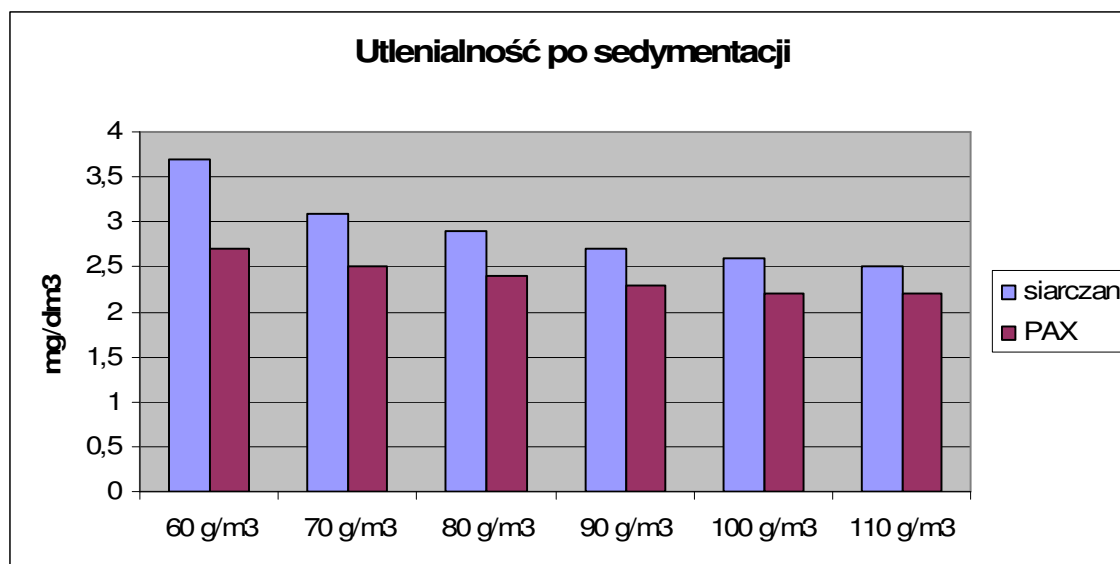
Pojedyncza próba obejmuje zwykle badanie 3-4 dawek koagulantu testowanego i 2-3 dawki koagulantu aktualnie stosowanego.

Miarą efektywności procesów są parametry określone dla wody po sedymentacji oraz po filtracji laboratoryjnej, takie jak:

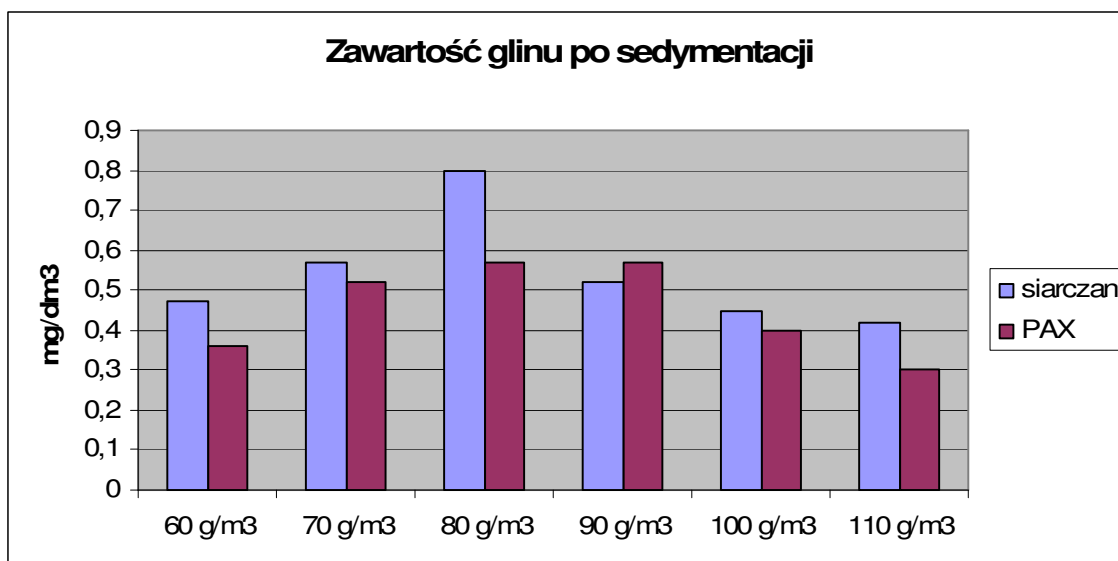
- utlenialność,
- barwa,
- odczyn,
- mętność oraz
- stężenie kationu glinowego.

W trakcie wieloletnich poszukiwań przetestowano szereg koagulantów różnych producentów, wśród których znalazły się produkty o nazwach handlowych takich jak: PIX, PAX, PAC, siarczan glinu i inne koagulanty glinowe oraz szereg flokulantów.

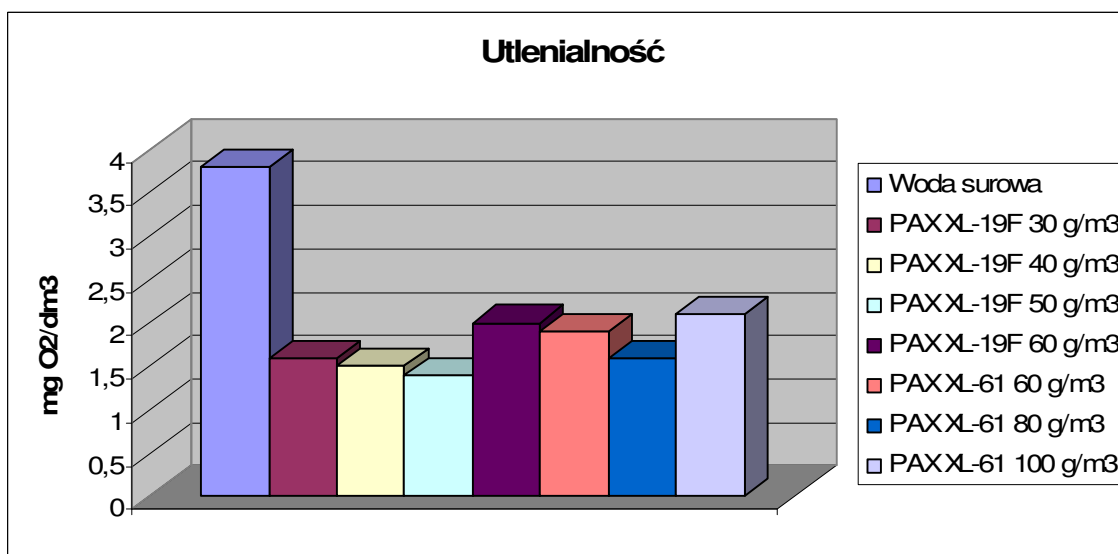
Wykresy poniżej są graficznym przedstawieniem wybranych wyników badań laboratoryjnych z prób prowadzonych nad koagulantami. Na wykresach przedstawiono jakość wody po sedymentacji.



Rys. 1 Badania w ramach poszukiwania koagulantu alternatywnego dla siarczanu glinowego – utlenialność w odplywie po sedymentacji



Rys. 2 Badania w ramach poszukiwania koagulantu alternatywnego dla siarczanu glinowego – aluminium w odplywie po sedymentacji



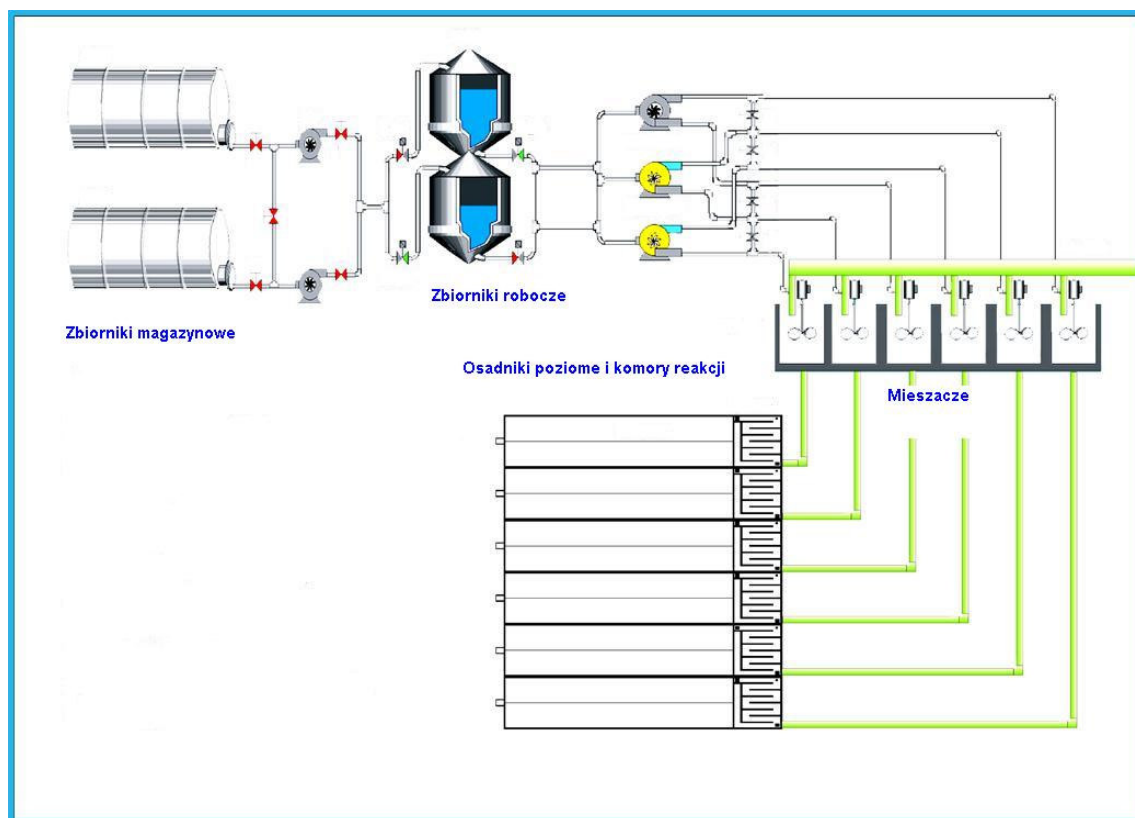
Rys. 3 Badania efektywności działania koagulantu PAX XL 19 F – utlenialność po sedymentacji

Testy w skali technicznej

Problemy związane z wprowadzeniem zmian w technologii koagulacji wody mogą zostać w znacznym stopniu rozpoznane i zredukowane poprzez prowadzenie wcześniej opisanych wstępnych testów w skali laboratoryjnej. Jednakże zastosowanie nowego środka z całą pewnością powinno zostać poprzedzone również testami na stacjach pilotowych lub w ograniczonej skali technicznej. W tym ostatnim wypadku można osiągnąć wyniki tożsame z zastosowaniem na pełną skalę bez niebezpieczeństwa konieczności przerw w pracy stacji uzdatniania

i dostawie wody. Można również ocenić szereg aspektów trudnych do obserwacji w skali laboratoryjnej lub pilotowej.

Stacja uzdatniania Straszyn posiada przystosowany właśnie do celów badań technologicznych na bloku koagulacji, specjalnie wydzielony ciąg technologiczny obejmujący mieszacz szybki, komorę flokulacji oraz osadnik.



Rys. 4 Schemat ciągu technologicznego koagulacji

Dodatkowo istnieje możliwość skierowania wody odpływającej z osadnika testowego oraz jednego z pozostałych na osobne kolumny pilotowe wypełnione złożem filtracyjnym. Umożliwi to oddzielne badanie efektów filtracji w zależności od zastosowanego koagulantu.

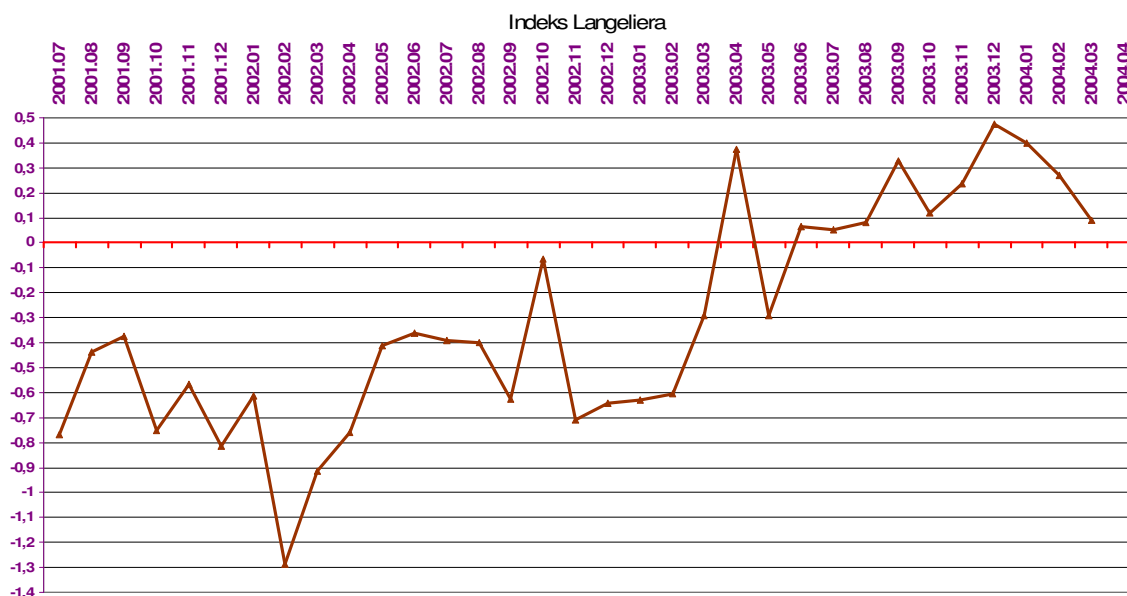
Koagulanty stosowane na stacji uzdatniania Straszyn

Wspomniane wcześniej problemy techniczne, bezpieczeństwa pracy ale i logistyczne jak również dążenie do optymalizacji procesu w zakresie technologicznym i technicznym, doprowadziły w roku 1997 do gruntownej zmiany technologii koagulacji. Po przeprowadzeniu modernizacji linii technologicznej nastąpiła zmiana koagulantu z sypkiego, roztwarzanego na miejscu siarczaniu glinu na płynny PAX. Pierwsze próby prowadzone były na szeregu koagu-

lantach typu PAX, PIX oraz WAC, jednakże w ich wyniku do zastosowania na ciąg technologiczny zakwalifikowano PAX 16 (zas. 37%, Al^{3+} 8,2%, pH 1,0), który został koagulantem stosowanym na ciąg technologiczny stacji uzdatniania Straszyn.

Z powodu znacznej zawartości agresywnego dwutlenku węgla powstającego w procesie koagulacji, a co za tym idzie wzrostu korozyjności wody podawanej do sieci prowadzone były poszukiwania koagulanta, który przy jakości wody równoważnej zastosowaniu PAX-16, umożliwił by obniżenie jej agresywności.

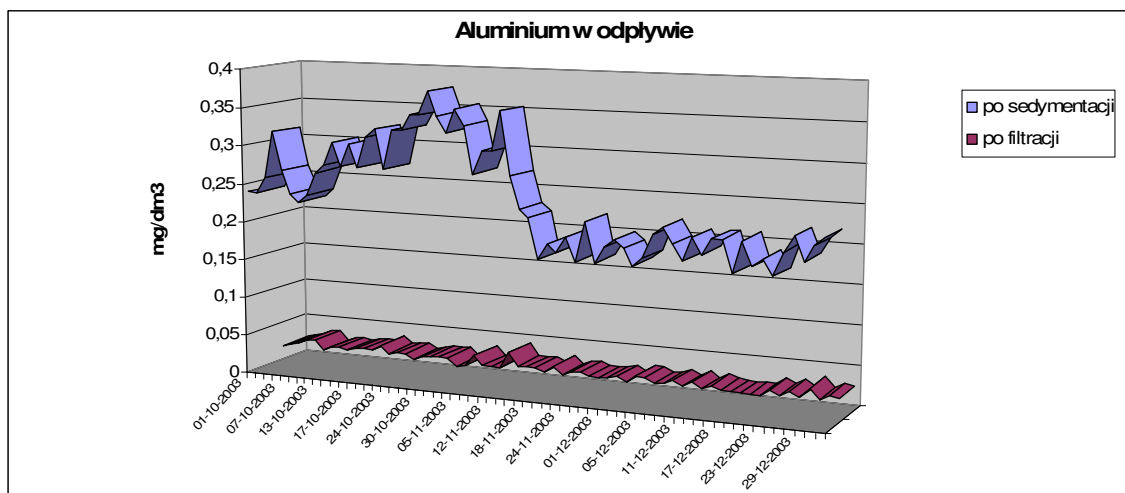
I tak w trakcie prowadzenia w latach 1998 – 2003, szeregu badań w skali laboratoryjnej w roku 2002 do przeprowadzenia testów w skali technicznej na wydzielonym ciągu technologicznym ujęcia wody, zakwalifikowany został koagulant PAX XL-61 (zas. 70%, Al^{3+} 5,4%, pH 3). W październiku 2002 r. przeprowadzone zostały badania zastosowania koagulanta PAX XL-61 w pełnej skali technicznej. Celem ich była optymalizacja dawki koagulanta w zakresie efektywności koagulacji i obniżenia korozyjności wody w połączeniu z maksymalizacją efektu technologicznego. Wyniki testu wykazały dobrą, porównywalną z PAX 16 efektywność koagulacji – redukcję utlenialności w połączeniu z ograniczeniem spadku odczynu wody.



Rys. 5 Korozyjność wody podawanej do sieci w latach 2001 - 2004

Koagulant ten w stosunku do dotychczas stosowanego PAX 16 zawiera mniejszą ilość glinu przy zwiększonej zasadowości, posiada także dodatek związków krzemu. Na podstawie przeprowadzonych badań ze względu na znacząco lepsze parametry uzdatniania w zakresie obniżenia korozyjności wody oraz poziomu glinu resztkowego w listopadzie roku 2003 zdecydo-

wano o zastosowaniu PAX XL 61 jako podstawowego koagulantu w prowadzonym procesie uzdatniania.



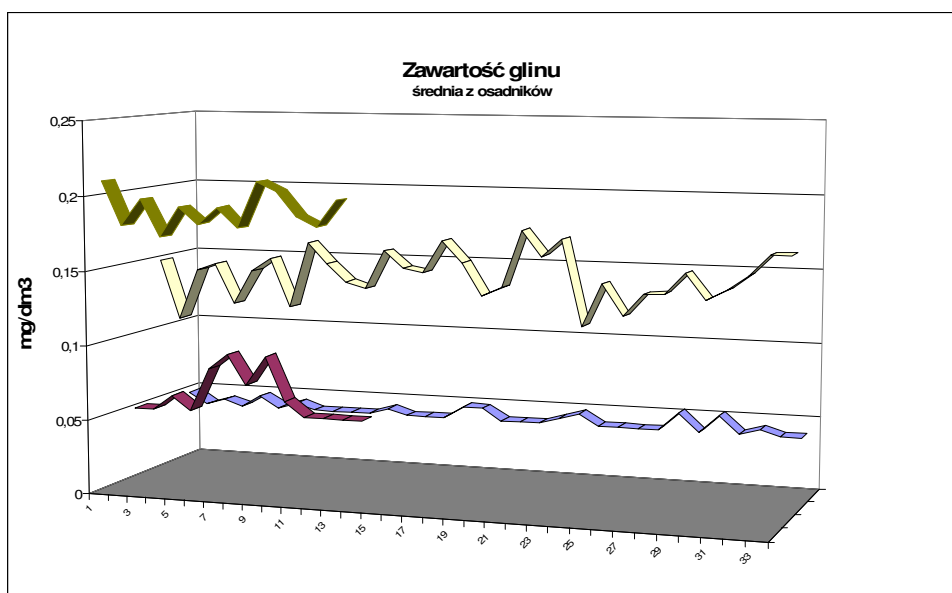
Rys. 6 Zawartość glinu w odpływie z osadników i w wodzie podawanej do sieci 2003

W latach 2004 – 2006 prowadzono dalsze poszukiwania możliwości zmiany typu koagulantu. Na tym etapie podstawowym optymalizowanym parametrem technologicznym było obniżenie zawartości glinu reszkowego w odpływie z osadników oraz zwiększenie redukcji utlenialności i ogólnego węgla organicznego.

W wyniku poszukiwań koagulantu, który pozwoliłby na uzyskanie takich efektów w roku 2006 na podstawie testów laboratoryjnych wytypowane został koagulanty wstępnie zhydroli-zowane w tym PAX XL-19 F (zas. 90%, Al^{3+} 8,4%, pH 4), które zakwalifikowane zostały do przeprowadzenia testów w skali technicznej na wydzielonym ciągu technologicznym.

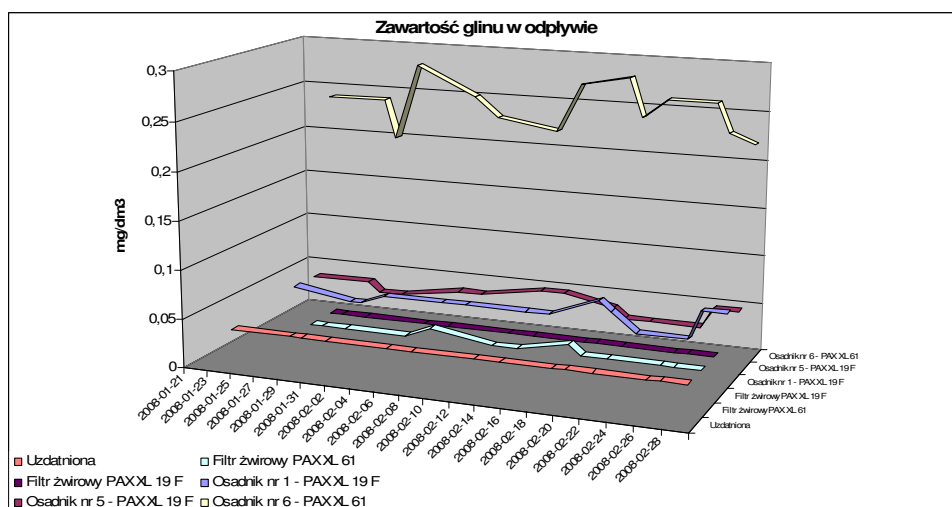
Wyznaczone do testów koagulanty charakteryzują się dużą zawartością łańcuchów złożonych z dwóch i więcej monomerów glinu, co w istotny sposób wpływa na efektywność tworzenia i sedymentacji kłaczków osadu. Dodatkowymi ich zaletami są właściwości pozwalające im funkcjonować efektywnie w szerokim zakresie odczynu i temperatury wody surowej.

Jak wynika z analizy danych uzyskanych w trakcie badań technologicznych zastosowanie tych koagulantów pozwoliło na obniżenie poziomu glinu oznaczanego po sedymentacji praktycznie do progu oznaczalności. Zgodnie z założeniami również dawki stosowanych koagulantów są od 2 do 4 razy niższe niż przy wcześniejszych koagulantach stosowanych na stacji uzdatniania Straszyn.

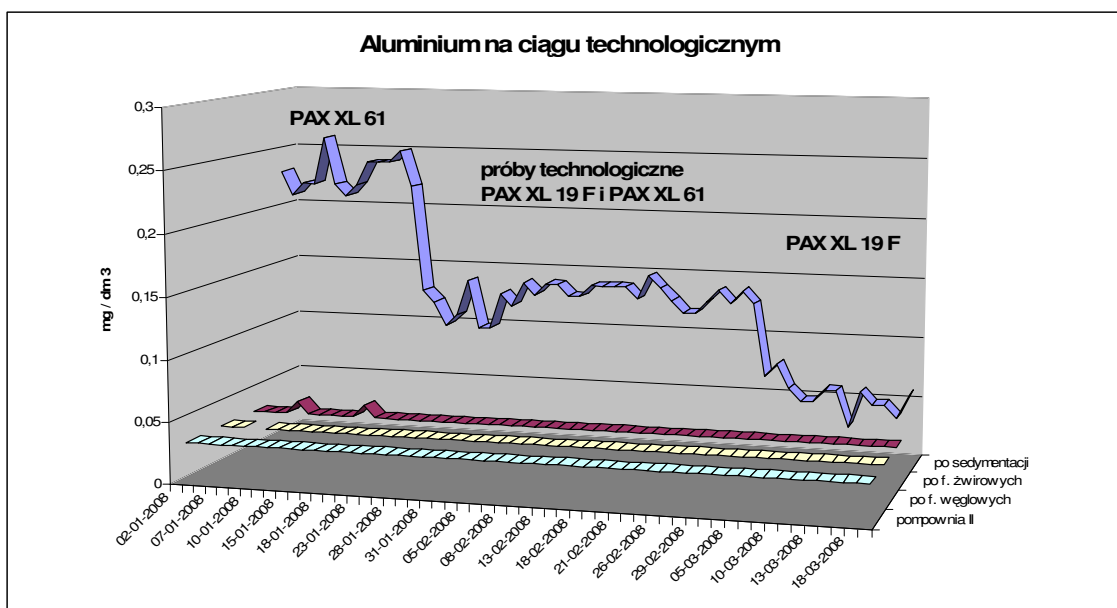


Rys. 7 Zawartość aluminium w odpływie z osadników w trakcie badań porównawczych

W związku powyższym podjęto decyzję o zmianie stosowanego koagulanta od początku roku 2008 na PAX XL 19 F. W pierwszych miesiącach roku przeprowadzono dodatkowe badania porównawcze tego koagulanta w zestawieniu z dotychczasowym PAX XL 61. Jak przedstawia wykresy poniżej uzyskano zamierzony efekt zmiany, w wyraźny sposób poprawiając redukcję glinu po procesie sedymentacji oraz obniżając ilość powstałego po procesie agresywnego CO₂, osiągając również zwiększoną 5-10% redukcję węgla organicznego, a także utrzymując odczyn wody na poziomie nie powodującym zwiększonej agresywności korozyjnej wody podawanej do sieci.



Rys. 8 Poziom aluminium w odpływie z osadników oraz do sieci w trakcie badań



Rys. 9 Zawartość aluminium po poszczególnych etapach uzdatniania w trakcie zmiany koagulantu

Ciekawym wymiarem zmian jakościowych zachodzących w poszczególnych typach stosowanych koagulantów jest dawka aluminium odniesiona do 1m^3 uzdatnianej wody. Pomimo różnych koncentracji jonów tego pierwiastka w kolejnych stosowanych typach koagulantów, po uwzględnieniu optymalnej dawki dla danej jakości wody wyraźnie widać, że ilość aluminium dodawana do wody stale maleje. Ma to w efekcie wpływ zarówno na końcowe koszty jak i na efekty procesu.

Typ koagulantu	Zawartość Al_3^+	Dawka równoważna	Dawka aluminium
PAX 16	8,2 %	80 g/m^3	$6,6\text{ g/m}^3$
PAX XL 61	5,4 %	100 g/m^3	$5,4\text{ g/m}^3$
PAX XL 19 F	8,4 %	50 g/m^3	$4,2\text{ g/m}^3$

Przy czym wzrost koncentracji aluminium w produkcji wiąże się ze wzrostem jego ceny. Tak więc w doborze końcowym, koagulant o najwyższej zawartości aluminium jest zwykle znacznie droższy od tych z mniejszą jego zawartością. A przy doborze typu środka do uzdatniania wody oprócz czynników jakościowych i technologicznych należy również uwzględnić czynniki ekonomiczne.

Podsumowanie

Proces koagulacji pociąga za sobą szereg efektów, których wpływ na końcowy produkt musi być ściśle monitorowany. W wyniku zastosowania różnych koagulantów można w znaczącym stopniu wpływać na wynik procesu tak aby dostosować go do jakości surowca.

Zastąpienie w pierwszej fazie modernizacji koagulacji, siarczanu glinu płynnym polichlorkiem glinu PAX 16 pozwoliło na uzyskanie szeregu korzyści wśród których najistotniejsze to: poprawa stanu bezpieczeństwa pracy na obiekcie, usprawnienie i ułatwienie w precyzyjnym prowadzeniu dozowania koagulanta, polepszenie jakości wody po sedymentacji w szczególności pod względem jej własności korozyjnych i zawartości glinu resztkowego. Zmiana typu koagulanta z PAX 16 na PAX 61 pozwoliła na dalsze znaczne obniżenie korozyjności wody uzdatnionej oraz zmniejszenie zawartości glinu w odpływie z osadników. Zastosowanie od 2008 roku wstępnie zhydrolizowanego koagulanta o wysokim stopniu polimeryzacji PAX XL 19 F pozwoliło na obniżenia zawartości glinu resztkowego do poziomu, który nie powoduje zagrożenia przedostawania się go do wody uzdatnionej.

Dodatkowym atutem koagulantów o znacznej zawartości polimerów aluminium jest możliwość znacznego obniżenia stosowanych dawek, co obniża koszty transportu oraz pozwala na zgromadzenie zapasu koagulanta na dłuższy okres nawet w sytuacji konieczności dozowania dużych dawek. Szeroki zakres odczynu wody oraz jej temperatury w których działanie koagulantów jest praktycznie takie samo pozwala na większą swobodę działania i reakcji na zmiany jakości surowca.

Literatura

1. Sprawozdania i raporty z wyników testów nad koagulantami na UW Straszyn.
Dokumentacja technologiczna UW Straszyn
2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. Nr 61, poz. 417).
3. A.L. Kowal, Oczyszczanie wody, J. Nawrocki, S. Biłozor,
Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne
4. Water Quality & Treatment, AWWA
Water Treatment, Principles and Practices of Water Supply Operations, AWWA