

## **UZDATNIANIE WÓD PODZIEMNYCH O PODWYŻSZONEJ BARWIE Z ZASTOSOWANIEM KOAGULACJI POWIERZCHNIOWEJ**

### **Wstęp**

Technologia uzdatniania większości wód podziemnych jest stosunkowo prosta. Występujące najczęściej w tych wodach żelazo w formie mineralnej z reguły nie stwarza dużych problemów i daje się łatwo usunąć w tradycyjnym układzie napowietrzania i filtracji. W przypadku, kiedy żelazo występuje w wodzie w połączeniu ze związkami organicznymi, głównie kwasami humusowymi, wywołującymi dodatkowo podwyższoną barwę wody, napowietrzanie bądź chemiczne utlenianie i filtracja są z reguły nieskuteczne i najczęściej potrzebny jest tu proces koagulacji prowadzący do usunięcia zarówno żelaza jak i obniżenia barwy wody. Jako koagulanty najczęściej stosowane są w tym przypadku sole glinu i żelaza zapewniające uzyskanie dużej sprawności usuwania kwasów humusowych.

Jednak zastosowanie tradycyjnej koagulacji objętościowej, stosowanej powszechnie w przypadku oczyszczania wód powierzchniowych, ze względu na stosunkowo skomplikowany układ technologiczny, jest nieopłacalne i w praktyce nie stosowane w obiektach uzdatniających wody podziemne. Dużo korzystniejsze jest w tym przypadku zastosowanie koagulacji powierzchniowej, której podstawową zaletą jest stosunkowo prosty układ technologiczny, co ma ogromne znaczenie szczególnie w przypadku małych wodociągów wiejskich uzdatniających niewielkie ilości wód podziemnych. Dodatkową zaletą jest możliwość stosunkowo łatwej adaptacji istniejącej technologii do wprowadzenia koagulacji kontaktowej. Prostota uzdatniania wody przy zastosowaniu koagulacji kontaktowej wynika z faktu, iż większość procesów (flokulacja, sedymentacja i filtracja) zachodzi w samym złożu filtracyjnym. Ponadto, zachodząca w złożu koagulacja powierzchniowa, jest przyśpieszana działaniem kontaktowym produktów koagulacji zatrzymanych na powierzchni ziaren złoża, dzięki czemu często można zastosować mniejszą dawkę koagulantu niż w tradycyjnej koagulacji objętościowej.

W pracy opisano wyniki badań pilotowych przeprowadzonych w skali ułamkowo technicznej oraz w pełnej skali technicznej uzdatniania, metodą koagulacji powierzchniowej, wody podziemnej ze wsi Piekło (gmina Sztum, Województwo pomorskie) o podwyższonej barwie oraz ponadnormatywnych stężeniach żelaza i manganu.

### **Stan aktualny - ujęcie i stacja uzdatniania**

Dla potrzeb wodociągu wiejskiego dla wsi Piekło ujmowana jest woda podziemna pochodząca z utworów czwartorzędowych. Wody z tego poziomu wodonośnego zostały ujęte do eksploatacji dwiema studniami głębokości 101,0 m (odwierconymi w latach 1974 oraz 1985r.), pracującymi naprzemiennie w cyklu dwutygodniowym.

Woda podziemna ze studni głębinowych we wsi Piekło charakteryzuje się podwyższoną (w stosunku do wartości dopuszczalnych) barwą 29 – 36 mg Pt/l, żelazem 0,20 – 0,38 mg Fe/l oraz manganem 0,06 – 0,08 mg Mn/l. Skład wody nie wykazuje anomalii w stosunku do wód podziemnych piętra czwartorzędowego w pobliskim rejonie, można zatem przyjąć, że wszystkie składniki wody są pochodzenia naturalnego.

Urządzenia do uzdatniania wody zainstalowano w budynku hydroforni, zlokalizowanym w strefie ochrony bezpośredniej ujęcia. W skład istniejącego obecnie układu technologicznego, przeznaczonego do oczyszczania ujmowanej wody wchodzi: aerator (z przepływem od dołu do góry, z odpowietrzeniem na filtrze, zasilany w powietrze ze sprężarki), filtr o średnicy 1,4 m, ze złożem antracytowo-kwarcowym o wysokości 1,0 m oraz hydrofor o objętości 4,0 m<sup>3</sup>. Prędkości filtracji nie przekraczały 10,0 m/h. Charakterystyczną cechą układu jest cykliczna praca. Woda przepływa przez urządzenia (aerator i filtr) jedynie w czasie pracy pompy głębinowej, która jest cyklicznie włączana i wyłączana w zależności od napełnienia zbiornika hydroforowego. W godzinach największego rozbioru wody pompa włączała się nawet dziesięć razy w ciągu godziny (co koło 6 minut), przy czym czas pracy pompy jednorazowo nie przekraczał 1,5 minuty. Można zatem przypuszczać, że w ciągu doby pompa mogła być włączana nawet około 100 razy (brak odpowiedniego opomiarowania nie pozwalał na dokonanie dokładnych wyliczeń). Istniejący na terenie ujęcia układ technologiczny nie pozwalał na oczyszczenie ujmowanej wody. Zarówno stężenia żelaza, manganu, jak i barwa wody praktycznie nie ulegały obniżeniu.

W celu opracowania metody oczyszczania wody podziemnej ze studni głębinowej we wsi Piekło przeprowadzono badania technologiczne. Założono przy tym, że ujmowaną wodę będzie można oczyszczać metodą koagulacji powierzchniowej, z wykorzystaniem istniejących

urządzeń. W planowanym układzie koagulant miał być dozowany do wody surowej przed aeratorem, który pełniłby dodatkowo funkcję mieszacza.

## Badania pilotowe

### Koagulanty

W badaniach zastosowano koagulanty z grupy PIX oraz PAX produkowane przez firmę Kemipol z Polic (Tabela 1). Koagulanty z grupy PIX są koagulantami nieorganicznymi opartym na trójwartościowym żelazie  $Fe^{3+}$ . W badaniach wykorzystano PIX 112 oraz PIX 122 będące wodnymi roztworami siarczanu żelazowego  $Fe_2(SO_4)_3$ . Natomiast koagulanty z grupy PAX są koagulantami nieorganicznymi opartym na trójwartościowym glinie  $Al^{3+}$ . Są to wodne roztwory chlorku poliglinu, przy czym koagulanty z grupy PAX, oznaczone dodatkowo symbolem XL, są koagulantami modyfikowanymi zawierające między innymi Si, Na, Ca, Mg.

Tabela 1. Charakterystyka zastosowanych koagulantów

Nazwa	Skład chemiczny (wodne roztwory)		gęstość [g/ml]	Inne
PIX - 112	siarczan żelazowy	11,65 - 12,40% $Fe_{og}$	1,54 – 1,56	
PIX - 122	siarczan żelazowy	12,4 - 12,90% $Fe_{og}$	1,5 – 1,6	
PAX - 16	chlorek poliglinu	8,2 % $Al^{3+}$	1,33	
PAX - 18	chlorek poliglinu	9,0 % $Al^{3+}$	1,36	
PAX – XL 1	chlorek poliglinu	5,3 % $Al^{3+}$	1,24	modyfikowany
PAX – XL 9	chlorek poliglinu	5,2 % $Al^{3+}$	1,21	modyfikowany
PAX – XL 10	chlorek poliglinu	5,0 % $Al^{3+}$	1,22	modyfikowany
PAX – XL 61	chlorek poliglinu	5,4 % $Al^{3+}$	1,31	modyfikowany
PAX – XL1905	chlorek poliglinu	6,0 % $Al^{3+}$	1,15	modyfikowany

### Badania w skali ułamkowo technicznej

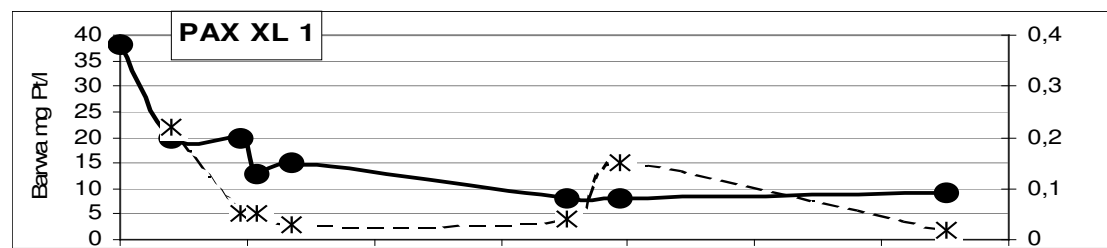
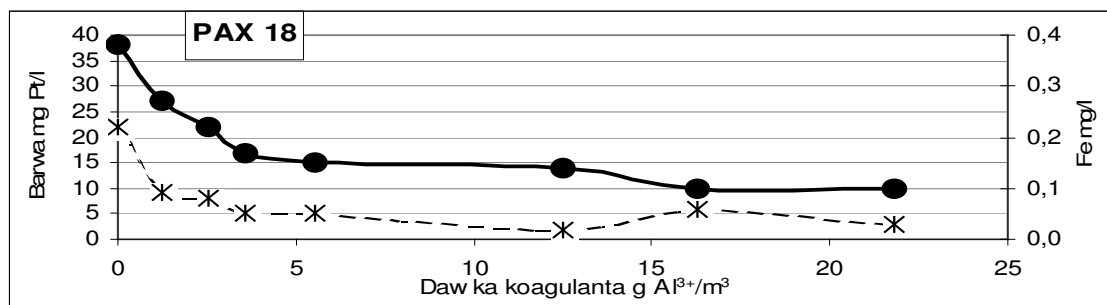
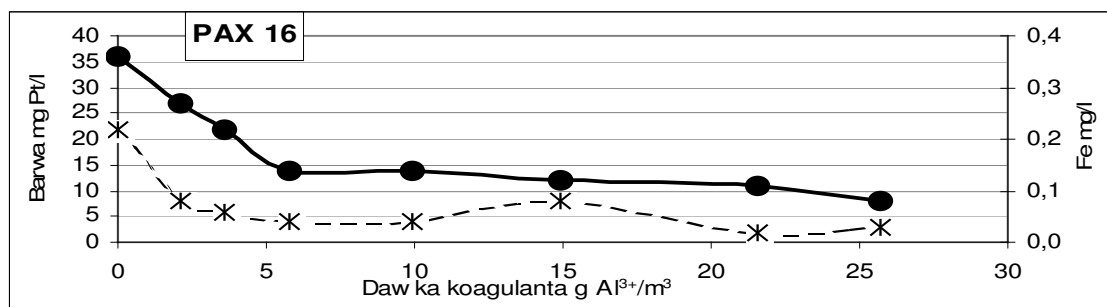
W pierwszym etapie przeprowadzono badania w skali ułamkowo technicznej z wykorzystaniem układu modelowego, które miały na celu wytypowanie skutecznych koagulantów oraz wstępne ustalenie ich dawki. Przebadano kilka koagulantów z grupy PIX (żelazowych) oraz PAX (glinowych) produkowanych przez firmę Kemipol z Polic.

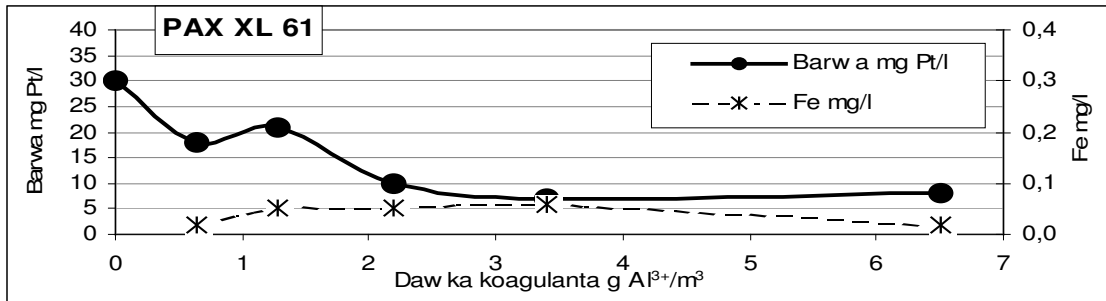
Stanowisko badawcze do badań w skali ułamkowo techniczne zainstalowano w budynku hydroformi. Składało się ono z trzech równolegle pracujących układów. W skład każdego układu wchodziły: pompka perystaltyczna do wody surowej, pompka perystaltyczna do dozowania koagulantów, aerator oraz filtr otwarty organicznego (o średnicy wewnętrznej 40 mm) o kie-

runku przepływu wody z góry do dołu. Wszystkie filtry wypełniono złożem antracytowo-kwarcowym pobranym z filtra pracującego w hydrofor-ni. Wysokość złoża wynosiła ok. 900 mm, a prędkość filtracji kształtowała się na poziomie 12 – 13 m/h. Wymieszanie koagulantów z wodą (dozowanych w formie rozcieńczonej) następowało w aeratorach (czas zatrzymania ok. 30 s), z których woda przepływała grawitacyjnie do filtrów.

W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że koagulanty żelazowe z grupy PIX (wodne roztwory siarczynu żelazowego) są całkowicie nieskuteczne w przypadku wody podziemnej z ujęcia we wsi Piekło. Zarówno barwa wody, jak i stężenie żelaza rosły w miarę zwiększania dawki koagulanta.

Znacznie skuteczniejsze okazały się koagulanty glinowe PAX (wodne roztwory polichlorku glinu). Obniżenie stężenia żelaza poniżej wartości dopuszczalnej 0,2 mg/l uzyskiwano przy zastosowaniu każdego z przebadanych koagulantów i to przy niewielkich dawkach poniżej 2,0 mg  $Al^{3+}/l$  (Rys. 1). Również wszystkie z przebadanych koagulantów glinowych pozwalały na obniżenie barwy wody poniżej wartości dopuszczalnej (15 mg Pt/l). Lepsze efekty i przy niższych dawkach uzyskano dozując do wody glinowe koagulanty modyfikowane. Obniżenie barwy poniżej 15 mg Pt/l uzyskiwano przy dawkach około 2,0 mg  $Al^{3+}/l$ , podczas gdy dla pozostałych koagulantów glinowych konieczne były dawki ponad dwukrotnie większe (powyżej 5,0 mg  $Al^{3+}/l$ ). Najlepsze efekty uzyskano dozując do wody koagulant glinowy, modyfikowany PAX XL 61, który pozwalał na obniżenie barwy wody do około 7,0 mg Pt/l, przy zastosowaniu niewielkiej dawki rzędu 3,5 mg  $Al^{3+}/l$ .

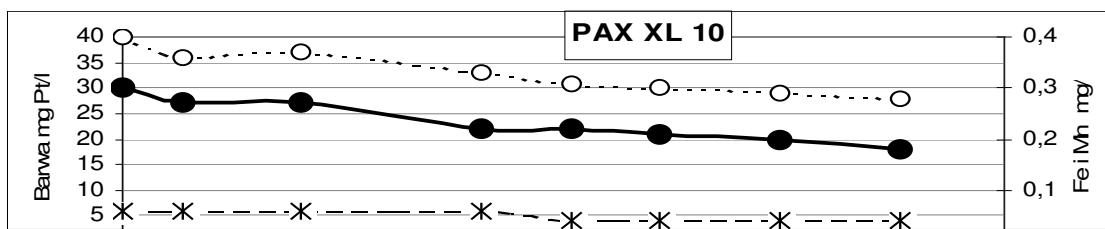
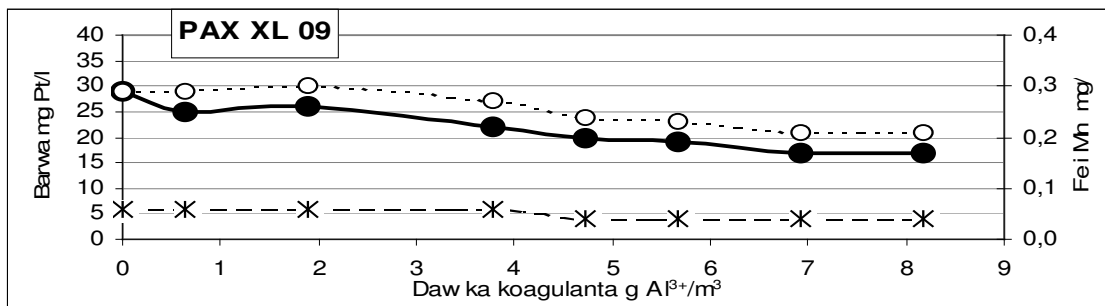


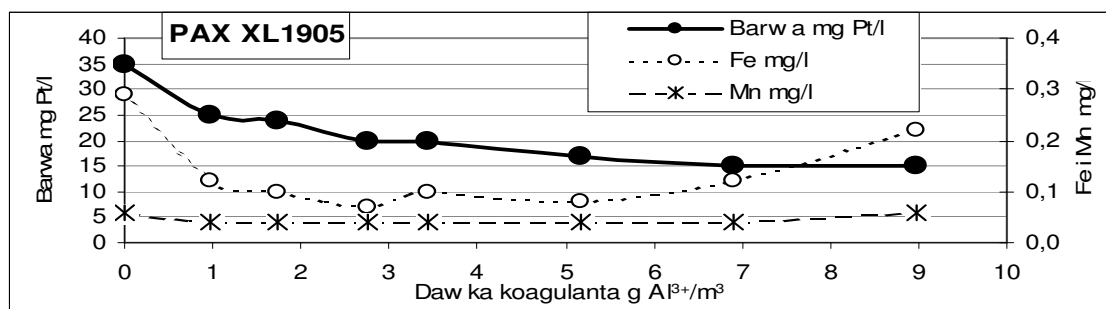


Rys. 1. Zmiany wybranych wskaźników jakości wody w koagulacji powierzchniowej w zależności od dawki koagulantu - koagulanty glinowe PAX (badania w skali ułamkowo technicznej)

### Badania w skali technicznej

Drugi etap badań polegał na zastosowaniu koagulacji w pełnej skali technicznej. W tym celu w pomieszczeniu hydroforni zainstalowano pompkę dozującą, włączającą koagulant do uzdatnianej wody. Koagulant w postaci dostarczanej od producenta (nie rozcieńczony) dozowano do przewodu tłocznego pompy głębinowej około 2,0 m przed aeratorem. Pompka dozująca włączała się automatycznie w momencie uruchomienia pompy głębinowej w studni i podawała do wody koagulant ze stałą wydajnością przez cały czas pracy pompy głębinowej. Wymieszanie koagulantu z wodą następowało zarówno w przewodzie, jak i w aeratorze, skąd woda przepływała do filtra ciśnieniowego ze złożem antracytowo-kwarcowym. Prędkości filtracji nie przekraczały 10,0 m/h.



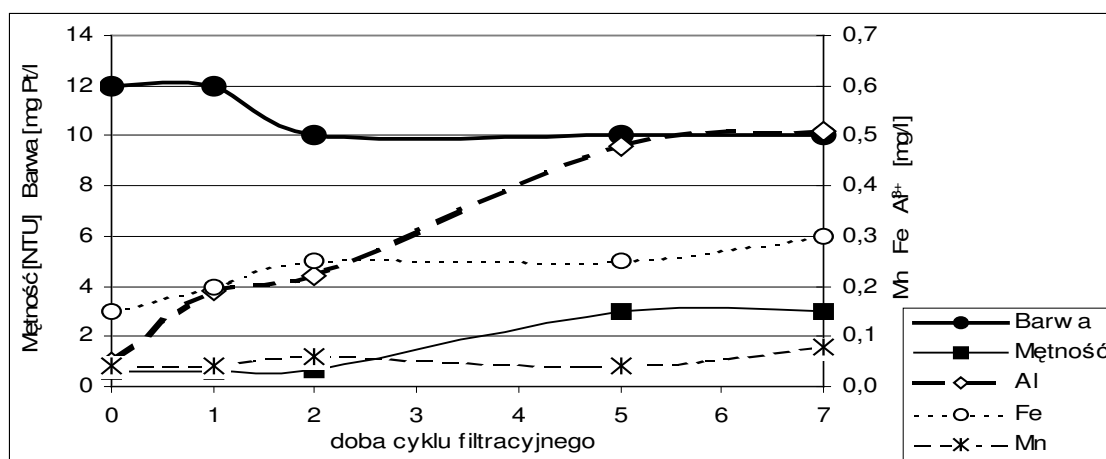


Rys. 2. Zmiany wybranych wskaźników jakości wody w koagulacji kontaktowej w zależności od dawki koagulantu (badania w skali technicznej)

Początkowo do badań zastosowano koagulant glinowy PAX XL 61, wytypowany w badaniach przeprowadzonych w skali ułamkowo technicznej. Pomimo dobrych efektów uzyskiwanych przy zastosowaniu tego koagulantu w pierwszym etapie badań, tym razem efekty były znacznie gorsze. Uzyskano wprawdzie obniżenie barwy o około 50%, jednak barwa wody uzdatnionej, w zależności od zastosowanej dawki koagulantu, kształtowała się na poziomie od 16 do 18 mg Pt/l, czyli wyższym niż wartość dopuszczalne dla wody przeznaczonej do spożycia. Również przeniesienie punktu dozowania koagulantu do studni i wydłużenie czasu mieszania nie przyniosło znaczącej poprawy efektów oczyszczania wody.

W tej sytuacji rozszerzono zakres badań o inne koagulanty glinowe, zarówno stosowane w pierwszym etapie badań, jak i nowe, dotychczas nie przebadane na stacji uzdatniania we wsi Piekło. Spośród przebadanych na tym etapie koagulantów tylko jeden, PAX XL 1905 okazał się skuteczny (Rys. 2). Przy dawkach w zakresie ok. 6,9 – 9,0 g Al<sup>3+</sup>/m<sup>3</sup> (co w przeliczeniu na objętość roztworu, o stężeniu dostarczanym przez producenta, wynosiło około 100 – 130 ml/m<sup>3</sup>) uzyskano obniżenie barwy, jak i żelaza, manganu oraz mętności do wartości dopuszczalnych polskimi normami. Po dłuższym (kilkutygodniowym) czasie dozowania koagulantu uzyskano obniżenie barwy wody do 10 – 12 mg Pt/l przy jeszcze mniejszych dawkach, wynoszących około 5,0 – 5,5 mg Al<sup>3+</sup>/l (około 70 – 80 ml/m<sup>3</sup>). Jednak w tym czasie zaobserwowano okresowe przekroczenia stężenia glinu w uzdatnionej wodzie. Dokładne pomiary wykazały, że stężenie glinu w odpływie z filtra stopniowo rosło w miarę wydłużania się cyklu filtra-

cyjnego. Przekroczenia wartości dopuszczalnej 0,2 mg/l obserwowano po około 2 dobach po płukaniu filtra a po 5 dobach stężenie glinu sięgało 0,5 mg/l (Rys. 3). Również stężenia żelaza oraz mętność wody wzrastały w miarę trwania cyklu filtracyjnego, przekraczając wartości dopuszczalne po około 2 – 3 dobach od płukania. Jedynie barwa rzeczywista wody, oznaczana w wodzie po przesączeniu przez sącdek, nie ulegała pogorszeniu, przy czym obserwowano nawet poprawę tego parametru w miarę czasu trwania cyklu filtracyjnego. Najprawdopodobniej, przyczyną pogarszania się jakości wody w miarę czasu trwania cyklu filtracyjnego było przebicie filtra i wypłukiwanie zatrzymanej wcześniej zawiesiny, będące skutkiem cyklicznej pracy filtra. Na to, że glin i żelazo w odpływie z filtra występują w formie nierozpuszczonej wskazywały analizy próbek wody po przesączeniu przez sącdek, w których obydwa składniki występowały jedynie w ilościach śladowych.



Rys. 3. Zmiany wybranych wskaźników jakości wody w koagulacji powierzchniowej w czasie cyklu filtracyjnego (badania w skali technicznej)

### Podsumowanie i wnioski

Woda podziemna ze studni głębinowej we wsi Piekło charakteryzuje się podwyższoną (w stosunku do wartości dopuszczalnych) barwą 30 – 36 mg Pt/l, żelazem 0,25 – 0,38 mg Fe/l oraz manganem 0,06 – 0,08 mg Mn/l. Istniejący obecnie, na terenie ujęcia układ technologiczny (napowietrzanie i jednostopniowa filtracja przez złożę antracytowo-kwarcowe) nie pozwala na oczyszczenie ujmowanej wody. Zarówno stężenia żelaza, manganu, jak i barwa wody praktycznie nie ulegają obniżeniu.

Przebadano kilka koagulantów z grupy PIX (żelazowych) oraz PAX (glinowych) produkowanych przez firmę Kemipol z Polic. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że koagulanty żelazowe (z grupy PIX) są nieskuteczne w przypadku wody z ujęcia we wsi Piekło. Znacznie skuteczniejsze okazały się koagulanty glinowe (PAX). Jednak pomimo zbliżonego

składu chemicznego koagulantów ich skuteczność była różna. Lepsze efekty i przy niższych dawkach uzyskano dozując do wody glinowe koagulanty modyfikowane (koagulanty PAX oznaczone symbolem XL). W badaniach przeprowadzonych w pełnej skali technicznej najskuteczniejszy okazał się koagulant PAX XL 1905 (modyfikowany), który pozwalał na obniżenie barwy oraz stężeń żelaza i manganu do poziomu zgodnego z polskimi normami. Efekty takie uzyskano przy dawkach wynoszących około 5,0 – 5,5 mg Al<sup>3+</sup>/l (około 70 – 80 ml/m<sup>3</sup>). Zastosowanie tej metody w praktyce na ujęciu we wsi Piekło wymagało skrócenia cyklu filtracyjnego do około 48 godzin, gdyż po dłuższym czasie stosowania koagulacji zaobserwowano okresowe przekroczenia stężenia glinu w uzdatnionej wodzie, które rosło w miarę wydłużania się cyklu filtracyjnego, a przekroczenia wartości dopuszczalnej obserwowano po około 2 dobach po płukaniu. Najprawdopodobniej, przyczyną przebiccia filtra było wypłukiwanie zatrzymanej wcześniej zawiesiny, będące skutkiem cyklicznej pracy filtra (częste wyłączenia dochodzące do około 100 w ciągu doby). W przypadku filtrów pracujących z równomierną wydajnością można się spodziewać, że długość cyklu filtracyjnego mogłaby być znacznie dłuższa.

Podsumowując, badania technologiczne przeprowadzone w pełnej skali technicznej wykazały, że wodę podziemną o podwyższonej barwie można oczyszczać metodą koagulacji powierzchniowej z zastosowaniem modyfikowanych koagulantów glinowych z grupy PAX XL.