

INTENSYFIKACJA KOAGULACJI DOMIESZEK WODY Z RZeki KACZAWY SOLAMI ŻELAZA

Podano efekty oczyszczania wody z rzeki Kaczawy i stawu infiltracyjnego w procesie koagulacji solami żelaza. Uwzględniano znaczenie odczynu wody i temperatury oraz wpływ polielektrolitów krajowych Rokrysoli WF na przebieg procesu.

Koagulacja jest powszechnie stosowana do usuwania domieszek z wód powierzchniowych. Od niej w głównej mierze zależą efekty oczyszczania wody. Podstawowym koagulantem, stosowanym w technologii wody, jest siarczan glinowy. Tylko niewielki procent zakładów oczyszczania wód stosuje sole żelaza. Jeszcze mniej danych dotyczy wspomagania koagulacji solami żelaza przez dodatek flokulantów [1, 2].

Celem tych ostatnich jest zmniejszenie dawki koagulantów podstawowych, przyspieszenie procesu kłaczkowania, utworzenie kłaczków o właściwej strukturze, zapewniającej dobre własności sedymentacyjne, rozszerzenie zakresu optymalnego pH oraz zmniejszenie ujemnego wpływu niskich temperatur na przebieg procesu.

Własności flokulantów

W skład polielektrolitów wchodzi duża liczba grup jonogennych, połączonych wiązaniami walencyjnymi. Najczęściej stosowane są polielektrolity o budowie liniowej, których cząsteczki rozciągają się w łańcuchy 0,4–0,8 μm . Ładunek elektryczny tworzy się wskutek dysocjacji grup jonogennych o charakterze kwasowym lub zasadowym. Cząsteczka polielektrolitu może mieć setki, a nawet tysiące grup dysocjujących, gdyż stopień polimeryzacji bywa znaczny. Krajowymi polielektrolitami o dobrych własnościach flokulujących są Rokrysole. Produkowane są one na bazie poliakryloamidu, jak większość flokulantów w RFN i ZSRR.

WF-1 posiada charakter niejonowy, WF-2 — anionowy, WF-3 — kationowy. Stopień polimeryzacji dochodzi do 30–40 tys., ciężar cząsteczkowy — 2–4 mln. Rokrysole są bezbarwnymi lub lekko żółtawymi cieczami o konsystencji żelu. Lepkość roztworów Rokrysoli jest funkcją stężenia, temperatury i szybkości mieszania. Wraz ze wzrostem temperatury i szybkości mieszania lepkość tych roztworów maleje. Największą lepkość posiadają roztwory Rokrysoli w stanie spoczynku i wynosi ona ok. 20 tys.—2 mln cP. Mechanizm flokulacji polielektrolitami opiera się na adsorpcji substancji koloidalnych i zawieszin na powierzchni cząstki polimeru. W następ-

nym etapie następuje wiązanie fazy rozproszonej z polimerem oraz tworzenie się zasocjowanych cząstek.

Działanie flokulujące polielektrolitów kationowych dodatkowo wspomagane jest neutralizacją ładunku elektrycznego koloidów. Efekt flokulującego działania polielektrolitów zależy od stosunku stężenia flokulantów do ilości zawieszin, stężenia koloidów, bądź koagulanta podstawowego. Przy optymalnej ilości flokulantów tworzą się zespoły polimeru, z zaadsorbowanymi cząstkami koloidowymi, zdolne do szybkiej sedymentacji. Przy ilości mniejszej od optymalnej nie wszystkie cząstki koloidowe zostaną związane, a przy większej — następuje utworzenie w roztworze jednolitej siatki zasocjowanych cząstek, która utrzymuje w bezruchu cząstki koloidowe, utrudnia ich koagulację i tworzenie kłaczków. Uzyskane na podstawie literatury informacje skłoniły do podjęcia badań nad zwiększeniem efektywności koagulacji domieszek z rzeki Kaczawy Rokrysolami.

Metodyka badań

Badania dotyczyły określenia przydatności soli żelaza i wybranych polielektrolitów do koagulacji domieszek wody z rzeki Kaczawy. Celem porównania skuteczności koagulantów badania prowadzono również dla wody pobieranej ze stawu infiltracyjnego zasilanego wodą z rzeki Kaczawy.

W okresie prowadzenia badań (marzec — czerwiec 1978) woda z rzeki Kaczawy charakteryzowała się odczynem 7,5÷7,8 pH, zasadowością — 1,8–2,3 val/m³, barwą — 15–30 g/m³ Pt, mętnością — 15–40 g/m³, utlenialnością — 3,4–4,9 g/m³O₂.

Jakość wody w stawie infiltracyjnym ulegała pogorszeniu, a jej podstawowe parametry przedstawiały się następująco: odczyn — 8,8–9,0 pH, zasadowość — 1,9–2,8 val/m³ (zas. alkaliczna 0,2–0,3 val/m³), barwa — ok. 40 g/m³ Pt, mętność ok. 20 g/m³, utlenialność — 6,6–7,8 g/m³O₂.

Koagulanty podstawowe: siarczan żelazowy, żelazowy oraz chlorek żelazowy dozowano do wody w postaci 0,5% roztworów, natomiast flokulanty: Rokrysole WF-1, WF-2, WF-3, WF-5 oraz Praestel — w postaci 0,1–0,05% roztworów.

Do korekty odczynu stosowano 0,1n ług sodowy lub kwas solny. Kontrolę procesu koagulacji prowadzono zgodnie z przyjętą metodyką badawczą wykonując oznaczenia wg PN w wodzie surowej i po koagulacji, po 0,5 godzinnej sedymentacji.

Badania prowadzone w skali laboratoryjnej na sześciostanowiskowym koagulatorze z przekładnią zapewniającą szybkość obrotową mieszadeł 80–100 obr./min w czasie szybkiego mieszania, które trwało 1–2 min oraz 20 obr./min w czasie 20 minutowego mieszania wolnego. Komorami flokulacji były zlewki o pojemności 1 dm³.

Badania procesu koagulacji domieszek wód

Sole żelaza

Koagulację solami żelaza prowadzono bez korekty pH, a następnie z korektą [3]. Stopień usuwania zanieczyszczeń zależnie od rodzaju i dawki koagulantu przedstawiono na rys. 1. W zakresie naturalnego odczynu wody z rzeki Kaczawy (7,6 pH) siarczan żelazowy okazał się koagulantem nieskutecznym, koagulacja w ogóle nie zachodziła.

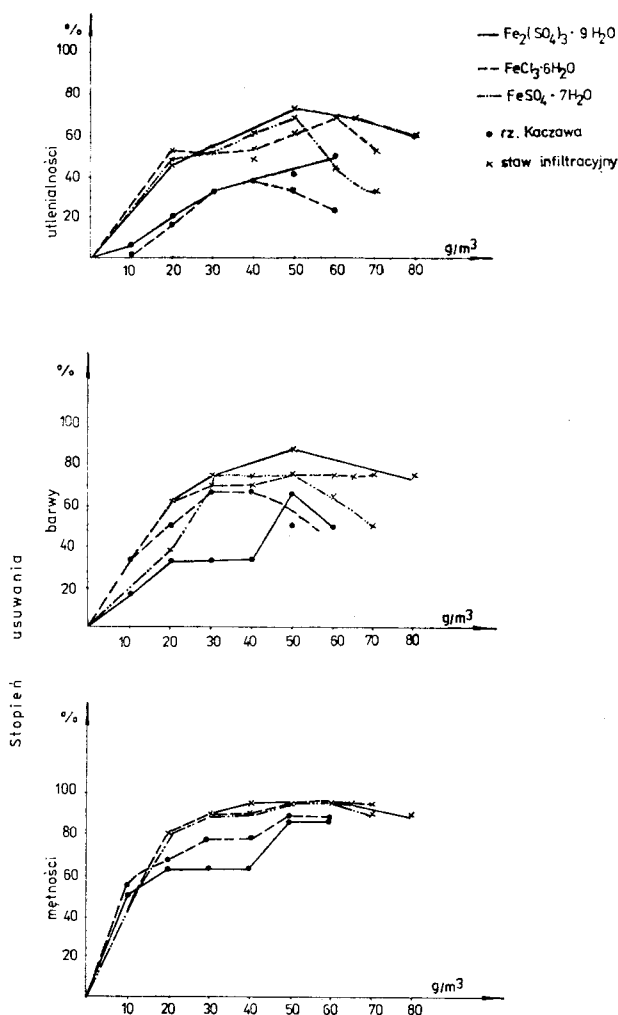
Natomiast dla wody ze stawu infiltracyjnego (pH~9,0) siarczan żelazowy oprócz wysokiego stopnia usuwania zanieczyszczeń zapewniał dobre własności sedymentacyjne osadu pokoagulacyjnego. Chlorek żelazowy i siarczan żelazowy mimo wysokiego stopnia usuwania domieszek z wody ze stawu infiltracyjnego uznano za koagulanty mało przydatne w zakresie naturalnego odczynu z uwagi na flotację powstałych kłaczków pokoagulacyjnych. Dla wody z rzeki Kaczawy najlepsze efekty koagulacji uzyskano stosując chlorek żelazowy.

Siarczan żelazowy dawał niższy stopień oczyszczania w porównaniu z chlorkiem żelazowym, ale zarówno chlorek jak i siarczan żelazowy zapewniły właściwą sedymentację powstałych kłaczków pokoagulacyjnych.

Stopień usuwania zanieczyszczeń z wody rzeki Kaczawy był niższy niż dla wody ze stawu infiltracyjnego. Wiąże się to z poziomem zanieczyszczenia tych wód, prawie dwukrotnie wyższym dla stawu infiltracyjnego. Wymagane dawki koagulantów wynosiły dla wody z rzeki Kaczawy 40 g/m³ FeCl₃·6H₂O, dla wody ze stawu infiltracyjnego — 40–50 g/m³ FeSO₄·7H₂O.

Odczyn wody

W badaniach ustalono wpływ pH na efektywność oczyszczania solami żelaza. W wodzie z rzeki Kaczawy zmieniano odczyn w zakresie 3,2–11,6 pH i badano przebieg koagulacji domie-

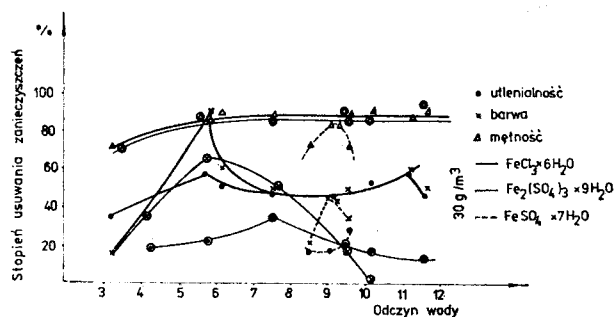


Rys. 1. Efekty koagulacji domieszek wód solami żelaza.

szek chlorkiem i siarczanem żelazowym oraz siarczanem żelazowym w ilości 30 g/m³ (rys. 2). Optymalny odczyn dla najskuteczniejszego koagulantu — chlorku żelazowego posiadał dwa zakresy: 5,8–6,0 pH i ok. 11 pH. W optymalnym pH stwierdzono wyższą skuteczność usuwania zanieczyszczeń przy czym w dolnym zakresie (pH~5,8) uzyskano szczególnie wysoki stopień usuwania barwy, natomiast w górnym (pH~11,0) stopień usuwania barwy i utlenialności był prawie jednakowy. Usuwanie domieszek powodujących mętność utrzymywało się na stałym poziomie (ok. 90%), w zakresie 5,8–11,5 pH i malało przy odczynie poniżej 5,8 pH.

Przy stosowaniu siarczanu żelazowego z korektą pH uzyskano ten sam stopień usuwania mętności, co przy chlorku żelazowym, natomiast przy usuwaniu barwy wystąpiło optimum pH ok. 5,8, a przy usuwaniu utlenialności — pH ok. 7,5.

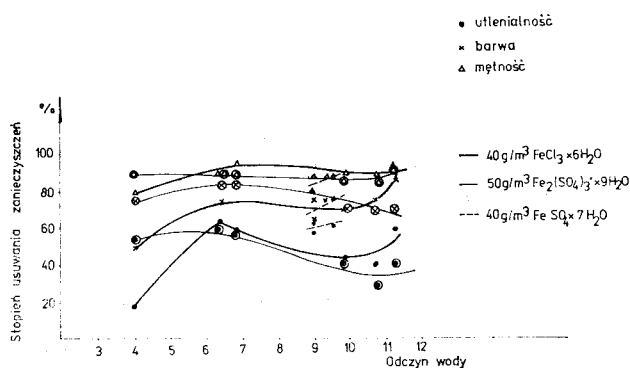
Dla siarczanu żelazowego wyznaczony optymalny odczyn wynosił ok. 9,0 pH i to ze względu na usuwanie barwy jak i mętności, natomiast usuwanie utlenialności wzrastało przy pH powyżej 9. Ze względu na bardzo wąski zakres skutecznego usuwania zanieczyszczeń optymalny



Rys. 2. Wpływ odczynu wody na efekty koagulacji domieszek wody z rzeki Kaczawy.

odczyn dla tego koagulantu powinien wynosić ok. 9 pH.

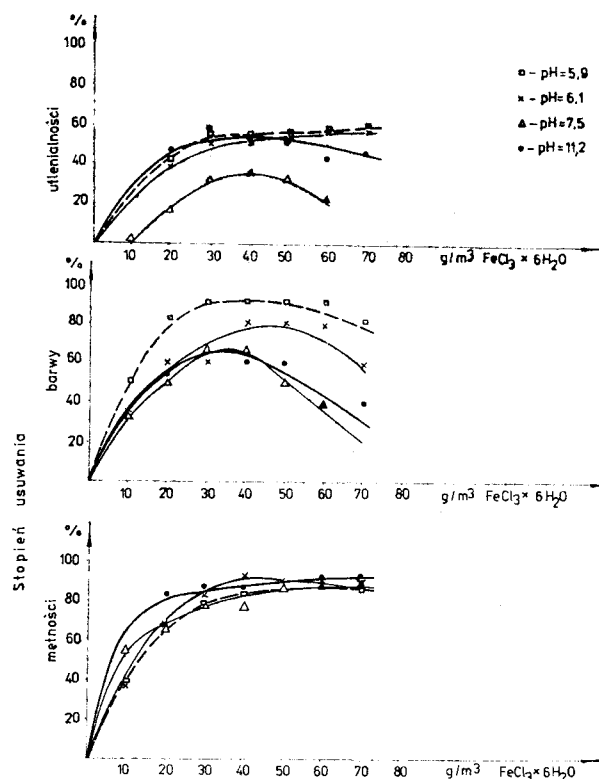
Zmiana odczynu w wodzie ze stawu infiltracyjnego w mniejszym stopniu wpływała na efekty oczyszczania solami żelaza (rys. 3). Obniżenie odczynu poniżej 6,4 pH powodowało zmniejszenie efektywności usuwania szczególnie utlenialności i barwy w przypadku stosowania siarczanu i chlorku żelazowego. Siarczan żelazowy działał z dużą skutecznością przy odczynie naturalnym i powyżej do 9,5 pH.



Rys. 3. Wpływ odczynu wody na efekty koagulacji domieszek wody ze stawu infiltracyjnego.

W dalszych badaniach ustalono wpływ dawki koagulantu (chlorku żelazowego) na efekty koagulacji domieszek wody z rzeki Kaczawy przy zachowaniu optymalnych zakresów pH (rys. 4). Z uzyskanych zależności wynika, że usuwanie domieszek powodujących barwę i utlenialność można uzyskać przy ok. dwukrotnie mniejszych dawkach koagulantu przy czym dla barwy górny odczyn (ok. 11 pH) jest mniej skuteczny niż dolny (ok. 6 pH). Przy zachowaniu pH naturalnego zwiększenie dawki koagulantu powyżej dawki optymalnej powodowało pogorszenie efektów oczyszczania, natomiast przy zachowaniu optymalnego pH — zmniejszenie stopnia usuwania zanieczyszczeń było niewielkie bądź usuwanie domieszek utrzymywało się na poziomie maksymalnym. W usuwaniu mętności wpływ dawek koagulantu zależnie od odczynu wody był niewielki.

Zapewnienie właściwego odczynu w procesie koagulacji jest niezmiernie ważne ze względu na ilość pozostałego żelaza w wodzie, która jest najniższa w zakresie optymalnego pH [4].



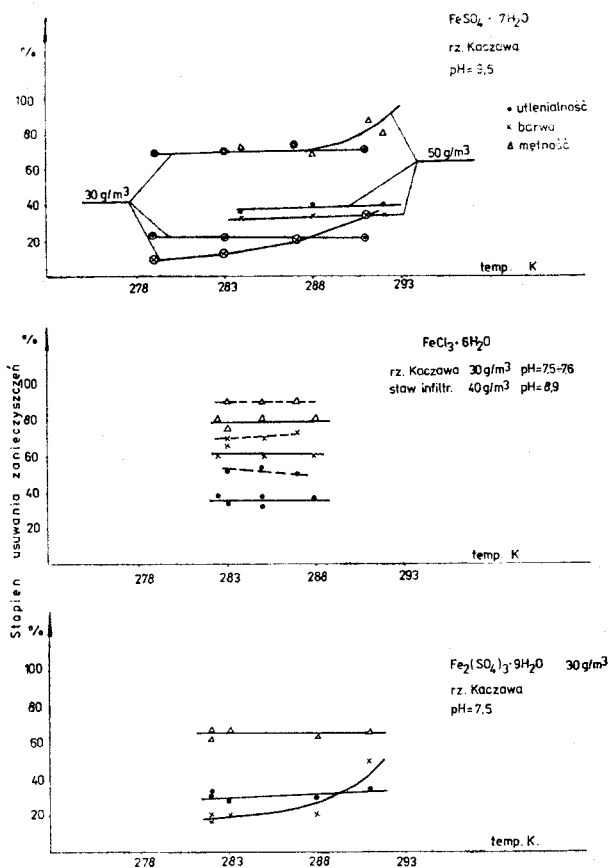
Rys. 4. Koagulacja domieszek wody z rzeki Kaczawy chlorkiem żelazowym z korektą pH.

Temperatura wody

Wpływ temperatury na przebieg procesu koagulacji jest znany od dawna, zwłaszcza dla stosowanego w zakładach oczyszczania wody siarczanu glinowego. Wpływ niskich temperatur jest szczególnie ważny w naszych warunkach klimatycznych, w których temperatury ujmowanych wód powierzchniowych w okresie 3—4 miesięcy nie przekraczają 277 K (4°C), a w okresie ok. 6 miesięcy — 280 K (7°C), w pozostałych miesiącach roku natomiast wynoszą ok. 283—293 K (10—20°C).

Trudności związane z właściwym przebiegiem procesu koagulacji w okresie występowania niskich temperatur wyjaśniono zmianę szybkości hydrolizy koagulantu i szybkości poruszania się cząstek koloidalnych [5], zmianą składu fizyczno-chemicznego wody, jaki towarzyszy niskim temperaturom [6], zmniejszeniem zdolności destabilizacyjnych koagulantu [7]. W koagulacji siarczanem glinowym, ujemny wpływ temperatury w znacznej mierze niwelowano korektą odczynu oraz polielektrolitami. Wpływ temperatury na skuteczność koagulacji solami żelaza przedstawiono na rys. 5.

Z uzyskanych zależności wynika, że sole żelaza są koagulantami znacznie mniej wrażliwymi na zmianę temperatury niż siarczan glinowy, a zmiany dotyczą głównie usuwania domieszek nadających wodzie barwę.



Rys. 5. Wpływ temperatury wody na efekty koagulacji.

W przypadku stosowania siarczanu żelazowego gorsze efekty usuwania barwy w niskiej temperaturze można poprawić zwiększając dawkę koagulantu, lub korygując pH wody.

Badania nad skutecznością polielektrolitów w koagulacji domieszek wód solami żelaza

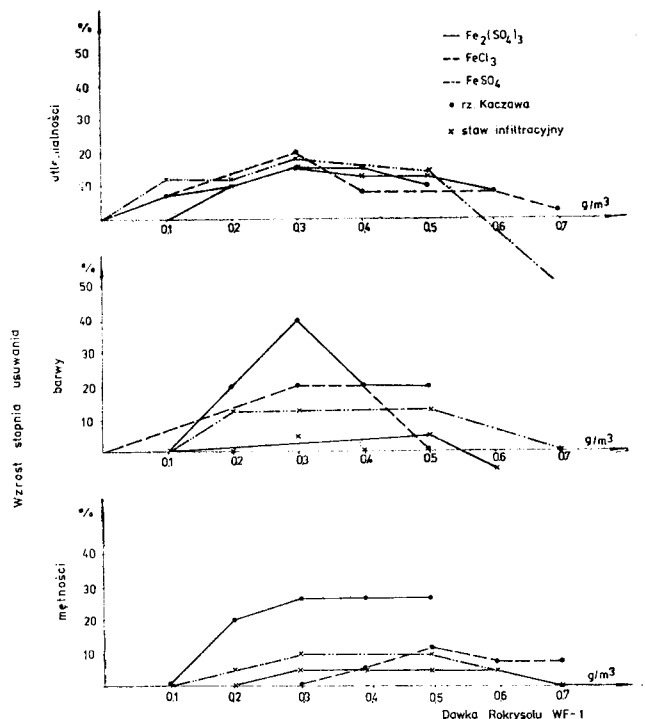
W celu intensyfikacji procesu koagulacji stosowano następujące środki wspomagające: produkcję krajowej Rokrysole WF-1, WF-2, WF-3, WF-5 i dla porównania produkcji RFN Praestol. Polielektrolity te dawkowano do oczyszczanej wody równocześnie z koagulantami podstawowymi. Badane polielektrolity nie zmieniały w zasadowości wody, ani jej odczynu.

Wspomaganie procesu koagulacji polielektrolitami ustalono dla optymalnych dawek koagulantów. Efekty wspomaganie usuwania zanieczyszczeń badanymi polielektrolitami z wody rzeki Kaczawy i stanu infiltracyjnego dla poszczególnych koagulantów przedstawiono na rys. 6—10.

Polielektrolit niejonowy Rokrysol WF-1

WF-1 najskuteczniej wspomagał usuwanie mętności i barwy dla wody z rzeki Kaczawy koagulowanej siarczanem żelazowym. Dla pozostałych koagulantów uzyskano prawie jednakowe zwiększenie stopnia usuwania utlenialności zarówno

dla wody z rzeki Kaczawy jak i stawu infiltracyjnego. Optymalne dawki wahały się w zakresie od 0,3 g/m³ — dla siarczanu żelazowego do 0,5 g/m³ — dla chlorku żelazowego. Zwiększenie dawki polielektrolitu powyżej 0,5 g/m³ powodowało pogorszenie jakości koagulowanej wody.



Rys. 6. Efekty wspomaganie koagulacji Rokrysolem WF-1.

Polielektrolit anionowy Rokrysol WF-2

Rokrysol WF-2, podobnie jak WF-1, wydawnie zwiększał usuwanie mętności i barwy w wodzie z rzeki Kaczawy koagulowanej siarczanem żelazowym. Dawka optymalna WF-2 dochodziła do 0,4 g/m³. Przy tej dawce uzyskano zbliżony wzrost stopnia usuwania utlenialności zarówno dla chlorku i siarczanu żelazowego w przypadku wody z rzeki Kaczawy jak i dla siarczanu żelazowego — w przypadku wody ze stawu infiltracyjnego.

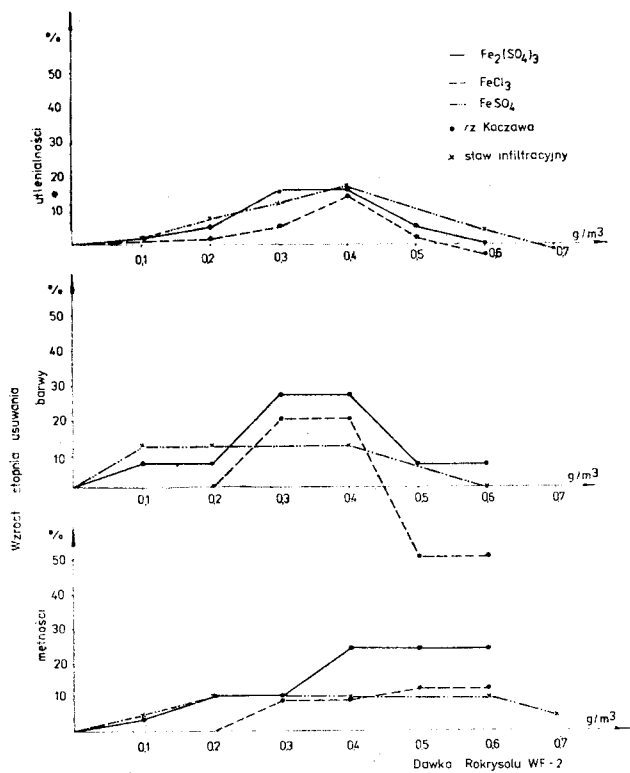
Polielektrolit kationowy Rokrysol WF-3

Skuteczność tego polielektrolitu badano dla wody z rzeki Kaczawy koagulowanej siarczanem i chlorkiem żelazowym. Większą efektywność jego działania uzyskano dla siarczanu żelazowego, a dawka nie przekraczała 0,3 g/m³ WF-3.

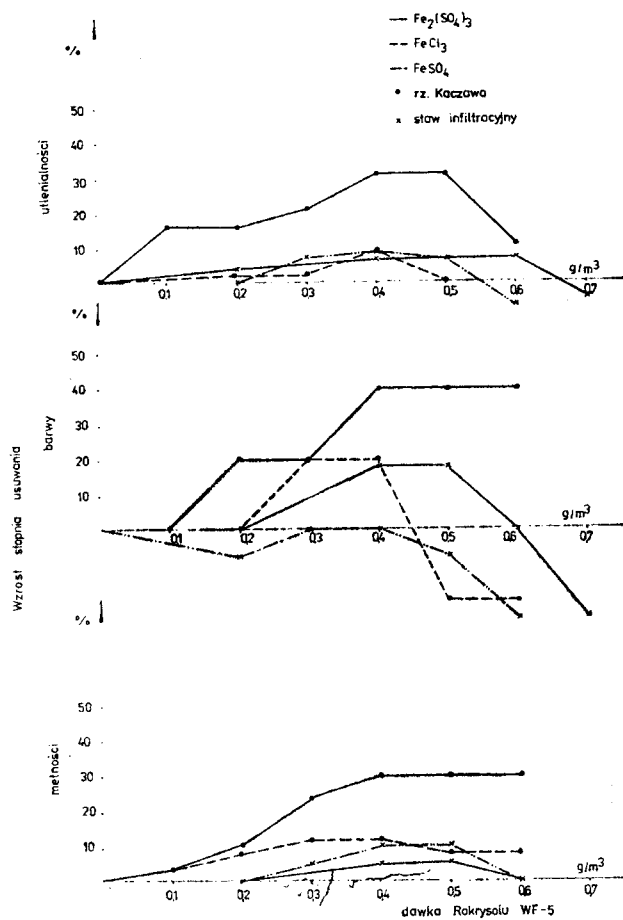
Polielektrolit kationowy Rokrysol WF-5

WF-5, jak poprzednie flokulanty, najbardziej zwiększał usuwanie domieszek z wody rzeki Kaczawy koagulowanej siarczanem żelazowym w ilościach nie przekraczających 0,4 g/m³. Skuteczność WF-5 dla pozostałych koagulantów oraz wody ze stawu infiltracyjnego była ponad dwukrotnie niższa.

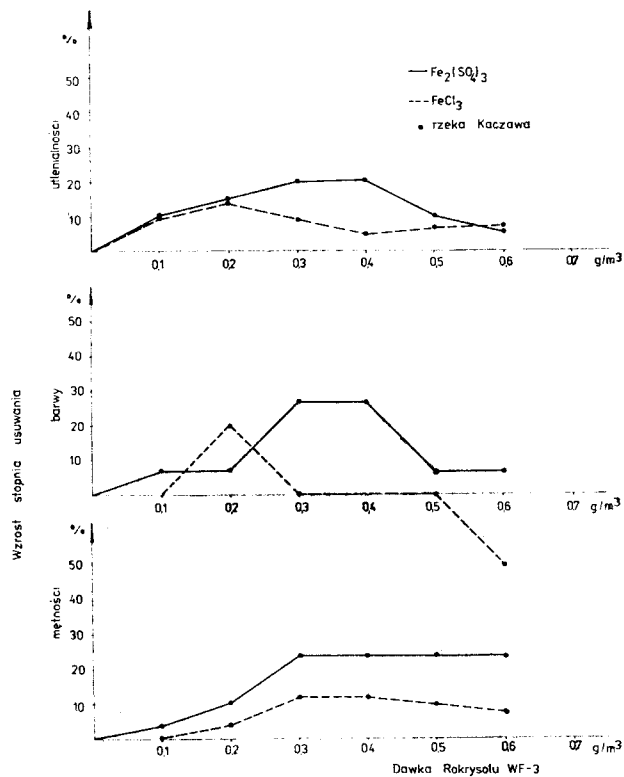
WF-5 okazał się flokulantem zupełnie nieprzydatnym przy usuwaniu barwy z wody ze stawu koagulowanej siarczanem żelazawym.



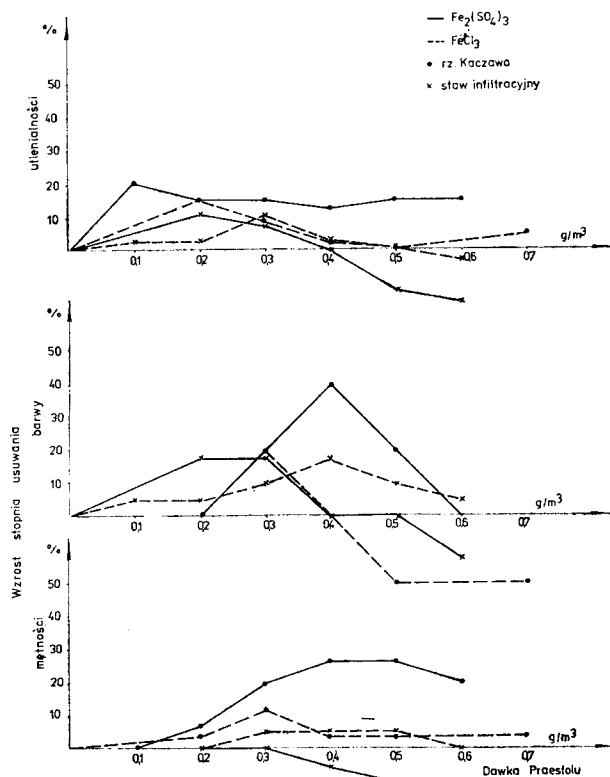
Rys. 7. Efekty wspomaganie koagulacji Rokrysolem WF-2.



Rys. 9. Efekty wspomaganie koagulacji Rokrysolem WF-5.



Rys. 8. Efekty wspomaganie koagulacji Rokrysolem WF-3.



Rys. 10. Efekty wspomaganie koagulacji Praestolem.

Polielektrolit kationowy Praestol

Praestol dla wody z rzeki Kaczawy dawał zbliżone efekty jak Rokrysole w przypadku koagulacji siarczanem żelazowym. Przy tym samym koagulancie w wodzie ze stawu nie usuwał mętności lub ją nawet zwiększał.

Zastosowanie Praestolu do wspomaganie koagulacji chlorkiem żelazowym dawało pozytywne rezultaty zarówno dla jednej jak i drugiej wody. Optymalne dawki Praestolu dla testowanych koagulantów i badanych wód, podobnie jak dawki Rokrysoli, dochodziły do 0,3—0,4 g/m³.

Z przeprowadzonych badań wynika duża przydatność Rokrysoli do wspomaganie koagulacji, przy czym najefektywniejsze ich działanie uzyskano dla zastosowanego koagulantu podstawowego — siarczanu żelazowego. Stosowanie polielektrolitów w procesie koagulacji solami żelaza zmniejsza nie tylko ilość koagulantu podstawowego lecz także obniża ilość żelaza pozostałego w wodzie do wartości dopuszczalnych [2].

Wnioski

W badaniach wykazano przydatność soli żelaza i polielektrolitów do koagulacji domieszek wód powierzchniowych. Najskuteczniejszym koagulantem do oczyszczania wody z rzeki Kaczawy okazał się chlorek żelazowy, natomiast najefektywniej wspomaganym przez polielektrolity — siarczan żelazowy.

Sole żelaza są koagulantami mało wrażliwymi na wpływ, szczególnie niskiej temperatury, który ujawnił się tylko przy usuwaniu domieszek powodujących barwę.

Optymalny odczyn w procesie koagulacji zmieniał się zależnie od rodzaju koagulantu. Zachowanie optymalnego odczynu zapewniło wyższą

skuteczność oczyszczania wody, bądź obniżenie dawek koagulantów podstawowych (prawie dwukrotnie) przy niezmienionej jakości wody. Podobne a niejednokrotnie i wyższe rezultaty można uzyskać stosując do wspomaganie koagulacji, polielektrolity — Rokrysole WF. Dodatkową ich zaletą jest nie zwiększanie agresywności wody, z którą należy się liczyć przy korekcie odczynu, szczególnie przy niskim pH.

Stosowanie polielektrolitów jak i korekta odczynu do pH optymalnego zmniejszają ilość koagulantu w wodzie w postaci żelaza pozostałego.

LITERATURA

1. A. CHOJNACKI, A. ZALEWSKA: Wpływ poliakrylanu sodowego Sedipur A, poliakrylanidu sodowego i krzemionki aktywnej na odbarwienie wody przy koagulacji solami żelaza. *Studia i materiały IGK* Nr 2, 1966.
2. A. GROSSMAN, W. KUSZNIK, A. KSIEŻYK-SIKORA, W. PAWLITA, J. SIKORA: Badania przydatności flokulantów krajowych w procesie koagulacji, *Prace Naukowe Inst. Inż. Ochr. Środ. Pol. Wrocławskiej* 27 pkt. „Koagulacja zanieczyszczeń wody”, W-w 1974.
3. J. MAĆKIEWICZ, B. HAŁAMBIEC: Koagulacja solami żelaza, W-w 1978, praca niepublikowana, maszynopis znajduje się w bibliotece I-15 Pol. W-w.
4. J. S. MAUDLING, R. E. HARRIS: Effect of Ionic Environment and Temperature on the Coagulation of Color — Coupling Organic Compounds with Ferric Sulfate *JAWWA* 4, 1968.
5. T. R. CAMP, D. A. ROOT, B. V. BOOTHA: Effect of Temperature on Rate of Flocculation, *JAWWA* Nr 32, 1940, p. 1913.
6. A. CHOJNACKI: Wpływ temperatury na koagulację wody siarczanem glinowym *GWTS* Nr 42 (5), 1968, s. 153.
7. A. L. KOWAL, J. MAĆKIEWICZ: Wpływ temperatury wody na przebieg procesu koagulacji. *Prace Naukowe Inst. Inż. Ochr. Środ. Pol. W-w „Koagulacja zanieczyszczeń wody”* Wrocław 1974.