

TECHNOLOGICZNE ASPEKTY KOAGULACJI W OSADZIE ZAWIESZONYM

W pracy przeanalizowano wpływ parametrów fizyczno-chemicznych na przebieg procesu koagulacji w warstwie osadu zawieszonego. Uzyskane efekty flokulacji w osadzie zawieszonym porównano z efektami flokulacji prowadzonej w układzie objętościowym i powierzchniowym. Ustalono także wpływ parametrów hydraulicznych na sprawność osadu zawieszonego.

Stosowanie osadu zawieszonego, w procesach oczyszczania wody, datuje się od końca 19 wieku. Jednakże rozwój konstrukcji osadników kontaktowych nastąpił dopiero po roku 1940. Praktyka ostatnich lat wykazała, że teoretyczne podstawy pracy osadu zawieszonego nie są dostatecznie rozpracowane. Proces koagulacji w osadzie zawieszonym powinien być rozpatrywany w dwóch aspektach: technologicznym i hydraulicznym.

Z uwagi na mechanizm koagulacji w warstwie osadu zawieszonego, proces ten w zasadzie jest koagulacją objętościową, natomiast zjawiska hydrauliczne zbliżają ten proces do koagulacji powierzchniowej, zachodzącej w mediach porowatych. Można więc uważać, że koagulacja w osadzie zawieszonym jest procesem pośrednim między koagulacją objętościową, a powierzchniową. Dlatego też wydaje się celowe porównanie efektów flokulacji w warstwie osadu zawieszonego z efektami uzyskanymi w koagulacji objętościowej i powierzchniowej.

Efekty oczyszczania

Efekty oczyszczania w procesie koagulacji analizowano w oparciu o parametry fizyczno-chemiczne, charakteryzujące koagulację niezależnie od rodzaju wody i sposobu prowadzenia procesu. Zaliczono do nich rodzaj i dawkę koagulantów, temperaturę i odczyn wody oraz potencjał elektrokinetyczny i intensywność mieszania mierzoną gradientem prędkości ruchu cieczy.

Rodzaje koagulacji

Podstawowymi koagulantami, stosowanymi w procesie koagulacji domieszek wody, są hydrolizujące sole glinu i żelaza. W oczyszczaniu wód powierzchniowych z reguły stosowany jest siarczan glinowy, a dlatego też efekty oczyszczania odnoszone są do tego koagulantu. Sole żelaza są mniej skuteczne w usuwaniu barwy, natomiast lepiej usuwają utlenialność. Usuwa-

nie mętności jest porównywalne dla siarczanu glinowego i soli żelaza. Dlatego też badania koagulacji dotyczyły przede wszystkim usuwania mętności.

Ustalono wpływ wielkości dawek koagulantów na usuwanie mętności oraz pozostałe jony zhydraulizowanych koagulantów (Al^{+3} lub Fe^{+3}) [1].

Stwierdzono, że usuwanie mętności siarczanem glinowym, bądź chlorkiem żelazowym wzrasta ze wzrostem dawki koagulantu. W przypadku chlorku żelazowego po przekroczeniu dawki optymalnej mętność pozostała wody stabilizuje się.

Ilość pozostałego żelaza w wodzie po koagulacji również zmniejsza się ze wzrostem dawki koagulantu, natomiast ilość pozostałego glinu wzrasta, szczególnie przy wyższych prędkościach przepływu wody w osadzie zawieszonym. Wynika z tego, że wzrost dawki koagulantu sprawia, iż do filtrów przedostaje się mniej kłacek, które jednakże w swojej strukturze zawierają większe stężenie glinu.

W klasycznej koagulacji objętościowej częścię pozostają w wodzie wyższe stężenia żelaza niż glinu.

Koagulacja w warstwie osadu zawieszonego wymaga stosowania niższych dawek koagulantów niż w układzie klasycznym i tak dla oczyszczania wody z rzeki Odry uzyskiwano zmniejszenie dawki siarczanu glinowego nawet o 40% [2]. Podobne efekty uzyskano stosując koagulację bezpośrednio w złożach filtracyjnych, z tym, że cykl filtracji był znacznie krótszy. w porównaniu do cyklu filtracji, poprzedzonego koagulacją w osadzie zawieszonym.

Temperatura i odczyn pH wody

W badaniach nad koagulacją domieszek wody z rzeki Odry, w układzie klasycznym, stwierdzono wyraźną zależność optymalnego odczynu pH oczyszczanej wody od jej temperatury [3]. Wykazano, że ze wzrostem temperatury wody malał optymalny odczyn pH koagulacji, który

wynosił 6,3—5,2 pH w zakresie temperatury 274,5—295,5 K. Zastosowanie w koagulacji optymalnego odczynu pH spowodowało wyższą skuteczność oczyszczania, bądź obniżenie dawek koagulantu, a także obniżenie glinu pozostałego do ilości śladowych. Również w warstwie osadu zawieszonego stwierdzono wyraźny wpływ pH na efekty oczyszczania. Dla wody z rzeki Odry optymalny odczyn był taki sam, jak w koagulacji klasycznej. Zastosowanie optymalnego odczynu procesu sprawiło przede wszystkim znaczne wydłużenie cyklu filtracji (ok. 100%). Wg badań innych autorów [1] zachowanie optymalnego odczynu pH zwiększyło usuwanie mętności, a także zmniejszyło ilości pozostałych koagulantów w wodzie w postaci jonów Al^{+3} lub Fe^{+3} . Zakres optymalnego odczynu pH dla siarczanu glinowego wynosił 6,5—7,0, natomiast był znacznie szerszy dla chlorku żelazowego i wynosił 5,0—6,5 pH [1].

Potencjał elektrokinetyczny

Wartości potencjału elektrokinetycznego usuwania domieszek w koagulacji w warstwie osadu zawieszonego są pośrednie między koagulacją objętościową a powierzchniową (tab. 1).

Tabela 1

OPTYMALNE WARTOŚCI POTENCJAŁU ELEKTROKINETYCZNEGO DLA USUWANIA MĘTNOŚCI, BARWY I UTLENIALNOŚCI WODY

Domieszki	Koagulacja objętościowa	Osad zawieszony	Koagulacja powierzchniowa
Mętność	—10,0 mV	—16,0 mV	—17,0 - —18,5 mV
Barwa	—5,0 mV	—10,0 mV	—
Utlenialność	—5,0 mV	—10,0 mV	—14,0 mV

Wyższe wartości potencjału ζ w osadzie zawieszonym, w odniesieniu do koagulacji objętościowej, wskazują na konieczność prowadzenia mniejszej destabilizacji układów koloidowych, a co z tego wynika, stosowania niższych dawek koagulantów. Większą destabilizację układów koloidowych, wymaganą w klasycznym układzie koagulacji, można wyjaśnić zjawiskiem desorpcji pod wpływem wyższych gradientów prędkości ruchu cieczy, panujących w komorach flokulacji.

Natomiast wyższe wartości potencjału ζ usuwania domieszek w złożach filtracyjnych, przy panujących wyższych gradientach prędkości ruchu cieczy w porach złoża, świadczą o istnieniu większego wpływu sorpcji na efekty flokulacji w złożu ustabilizowanym.

Gradient prędkości ruchu cieczy

Optymalne wartości gradientów prędkości ruchu cieczy, w procesie koagulacji koagulantami hydrolizującymi, wynoszą 20—60 s^{-1} . Proces koagulacji w warstwie osadu zawieszonego sprzężony jest z sedymentacją, stąd wartości gradientów są niższe i wynoszą rzędu kilku s^{-1} [4]. Wskazuje to, że warunki hydrauliczne podczas flokulacji w warstwie osadu zawieszonego są bardzo korzystne dla przebiegu całego procesu.

Flokulacja w złożach filtracyjnych przebiega przy odmiennych wartościach gradientów prędkości ruchu cieczy. Zmniejszają się one w czasie cyklu filtracji zależnie od rodzaju złoża i wynoszą 100—500 s^{-1} — dla złoża piaskowych oraz 15—300 s^{-1} — dla złoża dwuwarstwowych [5]. Analiza gradientu prędkości wskazuje, że warunki flokulacji w warstwie osadu zawieszonego odbiegają od klasycznej koagulacji objętościowej w komorach flokulacji, a także od powierzchniowej w złożach.

Hydraulika osadu zawieszonego

Zasada działania osadu zawieszonego oparta jest na hydrodynamice złoża fluidalnych, która obejmuje rozdział faz, transport masy, warunki mieszania, strukturę osadu zawieszonego w zależności od warunków przepływu wody. Właściwości struktury osadu określa współczynnik kohezji k , który jest funkcją prędkości przepływu wody i związanym z nią uwodnieniem osadu [6]. Dla właściwej struktury osadu zawieszonego współczynnik kohezji wynosi 1,2—1,5 m/h. Parametr ten, a także właściwa wysokość warstwy osadu zapewniają optymalną pracę filtrów — następnego urządzenia w układzie oczyszczania wody. W badaniach stwierdzono, że zwiększenie warstwy osadu wydłuża cykl filtracji [2].

Dane eksploatacyjne osadników kontaktowych wykazały, że optymalna wysokość warstwy osadu wynosi 2—2,5 m. W prawie całej tej warstwie gradient prędkości, podobnie jak i uwodnienie są stałe. Analiza gradientu prędkości ruchu cieczy wykazała, że 2—2,5 m warstwa osadu zawieszonego zapewnia wysoki stopień usuwania zanieczyszczeń (>99%), przy zachowanym stężeniu objętościowym osadu 0,15, natomiast mniejsze stężenie osadu, przy tej samej wysokości warstwy dają gorsze efekty oczyszczania [4].

O efektach oczyszczania w znacznej mierze decyduje prędkość przepływu wody w warstwie osadu zawieszonego. Stwierdzono, że optymalne prędkości zależnie od stosowanych koagulantów wynoszą: 0,6—1,3 mm/s — dla siarczanu glinowego, 1,2—2,5 mm/s — dla siarczanu glinowego z krzemionką aktywną i 0,8—2,0 mm/s — dla chlorowanego siarczanu żelazowego [7]. Z badań autorów wynika, że optymalne prędkości przepływu przy stosowaniu poszczególnych koagulantów zbliżone są do cytowanych dolnych zakresów.

Badania nad hydrauliką osadu zawieszonego, dla oczyszczania wody z rzeki Bóbr, przeprowadzono przy prędkościach przepływu 0,5—10 m/h [8]. Uzyskane wartości współczynnika kohezji wynosiły 0,98—1,15 m/h. Wyplukiwanie zawiesin z osadu stwierdzono przy prędkościach 3,6—4,5 m/h, a rozerwanie struktury osadu przy 9—10 m/h.

Wpływ temperatury na zmianę prędkości przepływu wyznaczono, korzystając z równań charakteryzujących złoża fluidalne [7].

$$u = u_0 \xi^\alpha$$

Prędkość początku fluidyzacji określona przez Allena jako prędkość sedimentacji pojedynczego kłaczków u_0 opisuje zależność

$$u_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{2/3} \frac{a - \frac{2}{5}a}{\nu^{1/3}}$$

Zatem wpływ temperatury na prędkość przepływu związany jest ze zmianą lepkości wody i określany jest stosunkiem

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{\nu_2}{\nu_1} \right)^{1/3}$$

Wpływ gęstości kłaczków natomiast na prędkość przepływu wody w tej samej temperaturze określa zależność

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{\rho_1 - \rho}{\rho_2 - \rho} \right)^{2/3}$$

W zakresie temperatury 273—293 K stosunek prędkości mieści się w granicach 0,825—1,0. Oznacza to 17,5% zmniejszenie prędkości przepływu w osadzie zawieszonym w temperaturze 273 K. Dla skompensowania tej różnicy wydajności osadników kontaktowych należy zachować proporcję gęstości kłaczków, którą dla temperatur 273—293 K wyznacza zależność

$$\left(\frac{\rho_{s1} - \rho}{\rho_{s2} - \rho} \right)^{2/3} = 1,2$$

Wskazuje to na konieczność zwiększenia gęstości ρ_1 w wodzie o temperaturze 273 K w stosunku do gęstości kłaczków sedimentujących w wodzie o temperaturze 293 K np. przez zastosowanie obciążników.

Wnioski

1. Efekty oczyszczania, a także zakres optymalnego odczynu wody sugerują większą przydatność soli żelaza, niż siarczanu glinowego do koagulacji w warstwie osadu zawieszonego.
2. Pomiar potencjału elektrokinetycznego pozwala częściowo wyjaśnić mechanizm zjawisk, zachodzących w koagulacji zależnie od stosowanej metody procesu.
3. Wartości gradientów prędkości ruchu cieczy wskazują na zróżnicowanie warunków flokulacji w omawianych metodach.

4. Analiza gradientu prędkości uzasadnia wysokość warstwy osadu zawieszonego dla wymaganego stopnia usuwania zanieczyszczeń.

5. W oparciu o zależności, charakteryzujące złoża fluidalne, wykazano wpływ temperatury na wahania wydajności osadników kontaktowych przy niezmienionej jakości wody surowej.

6. Ustalono, że skompensowanie obniżonej wydajności klarowników w okresach niskich temperatur można uzyskać zwiększając gęstość kłaczków, poprzez stosowanie obciążników.

OZNACZENIA

- α — wykładnik potęgowy
- ξ — porowatość warstwy osadu zawieszonego
- ρ_s — gęstość kłaczków
- ρ — gęstość wody
- ν — lepkość kinetyczna wody
- a — promień cząstki
- $\bar{a}$ — krytyczny promień cząstki, która opada zgodnie z prawem Stokesa
- g — przyspieszenie ziemskie
- u_0 — prędkość sedimentacji cząstki
- u — prędkość przepływu w złożu fluidalnym

LITERATURA

1. D. G. MILLER, J. T. WEST: Polit Plant Studies of Flocc Blanket Clarification, JAWWA 2, 1968.
2. A. L. KOWAL, E. CHMIEL: Badania sprawności flokulacji w warstwie osadu zawieszonego oraz projekt koncepcyjny zakładu oczyszczania wody, Wrocław, 1974 (praca niepublikowana).
3. A. L. KOWAL, J. MAĆKIEWICZ: The effect of Water Temperature on the Course of Alum Coagulation of Colloidal Particles in Water, EPE, 1/75.
4. J. MAĆKIEWICZ: On the Importance of Velocity Gradient in the Coagulation Process, EPE, 2/79.
5. J. MAĆKIEWICZ: Flokulacja w złożach filtracyjnych. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
6. J. MAĆKIEWICZ, M. SOZAŃSKI: Hydrauliczna i technologiczna ocena procesu koagulacji w warstwie osadu zawieszonego, materiały konferencyjne Politechniki Krakowskiej, Kraków 1981.
7. I. TESARIK: Flow in Sludge-Blanket Clarifiers, Saint. Eng. Div. 10. 1967.
8. A. L. KOWAL i inni: Usuwanie i likwidacja osadów pokoagulacyjnych wody z rzeki Bóbr, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1977 (praca niepublikowana).