

KOMPUTEROWA KLASYFIKACJA CZĄSTEK MIESZANINY POLIDYSERSYJNEJ

Mariusz RZAŚA¹, Ewelina ŁUKASIEWICZ²

1. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej
tel.: 77 449 80 71 e-mail: m.rzasa@po.opole.pl
2. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej
tel.: 77 449 88 76 e-mail: e.lukasiewicz@po.opole.pl

Streszczenie: Koagulacja jest jednym z procesów technologicznych wykorzystywanym podczas uzdatniania wody oraz oczyszczania ścieków. W trakcie tego procesu tworzą się kłaczkowate zawiesiny, charakteryzujące się zmiennym kształtem, rozmiarem i strukturą. Czynniki te mają duży wpływ na proces opadania zawiesiny kłaczkowatej, dlatego modelowanie opadania zawiesiny polidispersyjnej jest bardzo skomplikowane. W niniejszej pracy zaprezentowano metodę klasyfikacji cząstek osadu pokoagulacyjnego, przy użyciu obliczonych współczynników k_1 , k_2 i k_3 . Odpowiednie wartości tych współczynników pozwalają na zakwalifikowanie rozważanego kłaczkowatego do danej grupy cząstek. Idea metody polega na obliczeniu powierzchni danej cząstki właściwej dla jej obrazu mikroskopowego. Następnie przy wykorzystaniu komputerowej analizy obrazu wyliczane są potrzebne parametry.

Słowa kluczowe: koagulacja, metoda klasyfikacji, komputerowa analiza obrazu, mieszanina polidispersyjna.

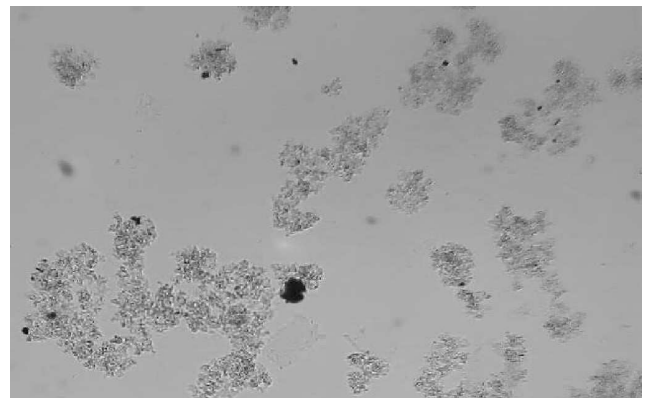
1. WSTĘP

Jedną z metod uzdatniania wody jest koagulacja. Polega ona na destabilizacji układu koloidalnego i aglomeracji cząstek, które następnie usuwa się w procesach sedymentacji, flotacji czy filtracji. Powstałe cząstki pokoagulacyjne charakteryzuje zróżnicowany kształt i wielkość oraz porowata struktura. Szybkość opadania takich cząstek w dużej mierze zależy od ich gęstości i kształtu.

Metodą koagulacji usuwa się głównie koloidy i zawiesiny trudnoopadające, a także rozpuszczone w wodzie związki organiczne [1]. Jednym z najczęściej usuwanych związków obecnych w wodzie jest żelazo. Choć żelazo nie ma znaczącego wpływu na zdrowie ludzi, to konieczne jest usunięcie jego związków z wody technologicznej [2]. Wytrącenie dwuwartościowych związków żelaza rozpuszczonego w wodzie polega na sprowadzeniu ich do trudno rozpuszczalnych związków Fe(III), które wytrącają się w postaci osadu. Powstały osad usuwany jest w procesie flotacji, sedymentacji czy filtracji [3,4]. Żelazo w takich związkach występuje zwykle na poziomie rozdrobnienia roztworów koloidalnych. Usunięcie tego rodzaju zanieczyszczeń wymaga zastosowania procesu koagulacji. Cząstki koloidalne posiadają ładunki elektryczne, które utrudniają im łączenie się w większe aglomeraty. Destabilizację ładunków cząstek koloidalnych uzyskuje się między innymi poprzez dawkowanie do wody

odpowiedniego koagulantu. W zależności od rodzaju wody, wielkości dawki oraz rodzaju koagulantu i warunków fizyczno-chemicznych procesu, powstają kłaczkowate osady o różnej strukturze i zdolności do aglomeracji (rys. 1) [5,6].

W trakcie opadania, kłaczkowate osady łączą się w większe aglomeraty, co nazywane jest flokulacją. Opadanie zawiesin kłaczkowatych jest procesem złożonym, gdyż w trakcie sedymentacji zmienia się masa oraz kształt cząstek, a zawiesina ma strukturę polidispersyjną. Ponieważ gęstość kłaczkowatych jest niewiele różni od gęstości wody, ich prędkość opadania jest bardzo wolna rzędu 0,005-0,05 cm/s [7,8].



Rys. 1. Obraz mikroskopowy mieszaniny polidispersyjnej

Prawidłowo przeprowadzony proces koagulacji i flokulacji oraz dobór odpowiedniego koagulantu zależy od osiągniętych wyników oczyszczania dla danej wody lub ścieku [9,10]. W praktyce, koagulację przeprowadza się przy użyciu koagulantów, których produkty hydrolizy powodują koagulację elektrolitem oraz koagulację koloidem o znaku przeciwnym. Koagulacja zachodzi w dwóch etapach. W pierwszym, trwającym kilka sekund po dodaniu koagulantu, przebiegają reakcje chemiczne i fizyczne, co prowadzi do destabilizacji cząstek koloidalnych. W drugim etapie, trwającym dłużej (flokulacji), w wyniku transportu i zderzeń zdestabilizowanych cząsteczek tworzą się kłaczkowate osady.

2. KLASYFIKACJA MIESZANINY

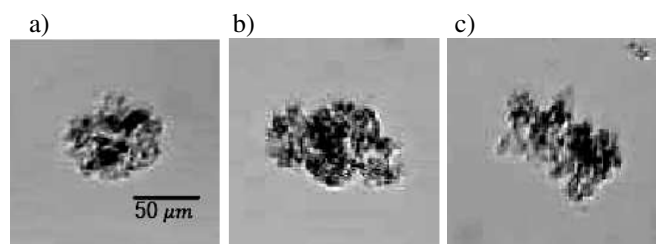
W procesie uzdatniania wody z użyciem koagulantów najdłuższym etapem jest sedymentacja osadu

pokoagulacyjnego. Ponieważ osad pokoagulacyjny stanowi zawiesina polidispersyjna, prędkości opadania poszczególnych frakcji są różne. Przyczyną tych różnic jest występowanie różnych zjawisk fizycznych towarzyszących procesowi opadania poszczególnych frakcji. Z tego względu zachodzi potrzeba wydzielenia w zawieszynie frakcji o odmiennym sposobie opadania [11,12]. Analizę procesu opadania zawiesiny można przeprowadzić na podstawie obrazów mikroskopowych. Jest to jednak bardzo żmudny proces. Uzasadnia to zastosowanie komputerowej analizy obrazu. W tym celu konieczne jest opracowanie komputerowej metody klasyfikacji frakcji osadu pokoagulacyjnego. Prezentowana praca opisuje komputerową metodę klasyfikacji takiego osadu w procesie sedimentacji. Klasyfikacja dotyczy podziału cząstek ze względu na ich zachowanie podczas procesu opadania oraz charakter zjawisk towarzyszących i mających wpływ na proces opadania.

Na potrzeby komputerowej klasyfikacji frakcji mieszaniny polidispersyjnej autorzy podzielili frakcje na trzy podstawowe grupy: zwarte, bez wyraźnej koncentracji masy oraz porowate aglomeraty. Grupy te uwzględniają różnice kształtu i struktury oraz ich zachowanie podczas procesu opadania.

2.1. Cząstki zwarte

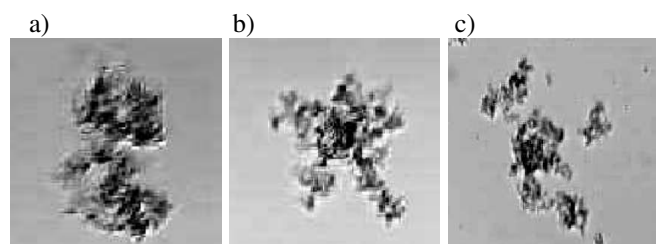
Cząstki zwarte charakteryzuje jednorodna budowa (rys. 2). Ich kształt jest zbliżony do kuli wypełnionej jednorodną mikroporowatą strukturą. Mikropory są własnością materiału, jaki powstał w wyniku procesu koagulacji. Gęstość takich cząstek w dużej mierze zależy od rodzaju użytego koagulantu oraz od zastosowanej dawki. Cząstki tego typu opadają po torze prostoliniowym, z niewielkim ruchem zygzakowatym. Ze względu na ich niewielkie wymiary i masę, niejednokrotnie ich ruch jest zakłócony ruchem cieczy, wywołanym poruszaniem się w ich sąsiedztwie innych cząstek o znacznie większych wymiarach.



Rys. 2. Przykładowe obrazy cząstek o strukturze zwartej

2.2. Cząstki bez wyraźnej koncentracji masy

Drugą grupę stanowią cząstki bez wyraźnej koncentracji masy (rys. 3).

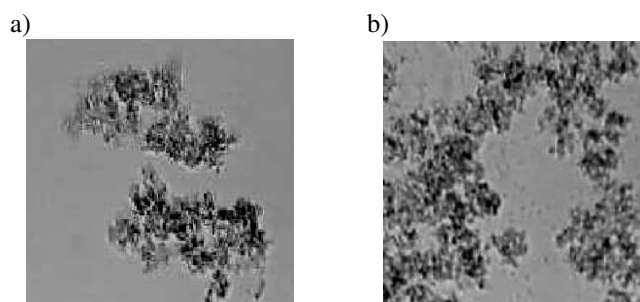


Rys. 3. Przykładowe obrazy cząstek bez wyraźnej koncentracji masy

Posiadają one wyraźny środek, od którego promieniście rozchodzą się ramiona krystalizacji. Wystające ramiona powodują, że cząstka opadając, wykonuje ruch obrotowy wokół własnej osi. Ruch obrotowy powoduje, że na cząstkę oddziałuje boczna siła Magnusa, której kierunek ulega ciągłym zmianom w czasie. Siła ta powoduje, że cząstki tego typu opadają po torze spiralnym.

2.3. Aglomeraty porowate

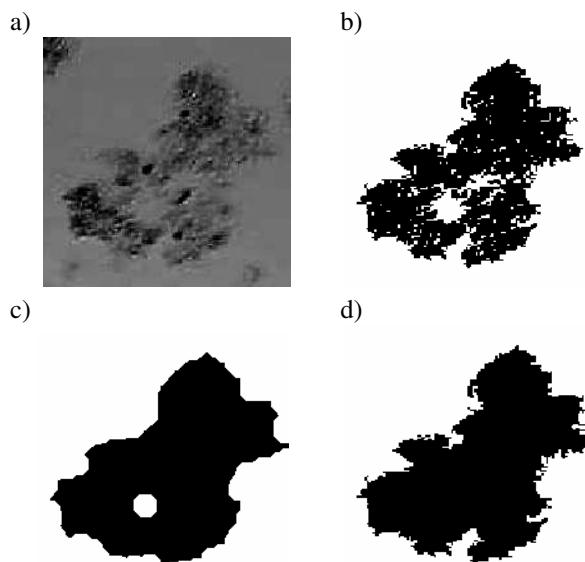
Cząstki bez wyraźnej koncentracji masy podczas opadania łączą się w większe aglomeraty (rys. 4). Gdy aglomeraty osiągają stosunkowo duże rozmiary następuje zanikanie ruchu obrotowego wokół własnej osi. Cząstki tego typu opadają ruchem prostoliniowym. Charakteryzuje je to, że posiadają one duże makropory, przez które może przepływać ciecz podczas ich ruchu. Ruch cieczy jest zbliżony do przepływu przez złożo porowate.



Rys. 4. Przykładowe obrazy aglomeratów porowatych

3. IDEA KOMPUTEROWEJ METODY KLASYFIKACJI FRAKCJI ZAWIESINY POLIDISPERSYJNEJ

Komputerowa metoda klasyfikacji cząstek pokoagulacyjnych oparta jest na procesie analizy obrazu (computer images processing) (rys. 5).



Rys. 5. Proces komputerowej analizy obrazu:
a) obraz mikroskopowy cząstki, b) obraz po procesie binaryzacji,
c) obraz po domknięciu przestrzeni otwartych,
d) obraz po wypełnieniu przestrzeni zamkniętych

Idea metody polega na obliczeniu pól powierzchni charakterystycznych dla obrazu cząstki zarejestrowanego mikroskopem. Proces analizy obrazu polega na poddaniu

obrazu z mikroskopu obróbce cyfrowej (rys. 5). W pierwszym etapie obróbki obraz zostaje poddany procesowi binaryzacji (rys. 5b). Następnie dla tak przygotowanego obrazu oblicza się pole powierzchni obrazu cząstki A_1 . W drugim etapie zamyka się w obrazie wszystkie przestrzenie otwarte (rys. 5c), a następnie oblicza się pole powierzchni A_2 . Podobną operację wykonuje się dla obrazu z rysunku 5b wypełniając wszystkie powierzchnie zamknięte (rys. 5d). Operacja ta pozwala na wyznaczenie powierzchni A_3 stanowiącej powierzchnię wewnątrz obrysu cząstki.

Pola powierzchni A_1 , A_2 i A_3 stanowią podstawę do określenia kryterium klasyfikacji. Na podstawie stosunków wybranych pól powierzchni wyznacza się współczynniki charakterystyczne k_1 , k_2 i k_3 .

$$k_1 = \frac{2 \cdot |A_2 - A_1|}{A_2 + A_1} 100\% \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{2 \cdot |A_3 - A_1|}{A_3 + A_1} 100\% \quad (2)$$

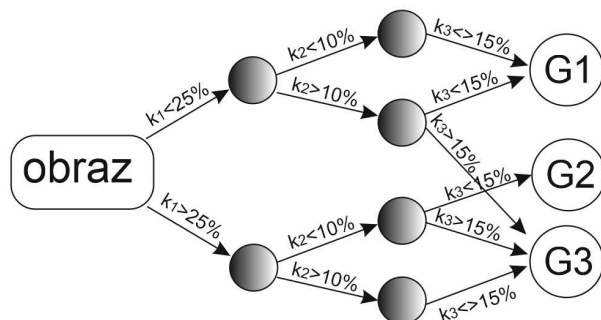
$$k_3 = \frac{2 \cdot |A_2 - A_3|}{A_2 + A_3} 100\% \quad (3)$$

Na podstawie wartości współczynników k_1 , k_2 i k_3 przyporządkowuje się wybrane cząstki do poszczególnych grup. W celu określenia kryteriów klasyfikacji konieczne jest wyznaczenie odpowiednich wartości progowych dla współczynników k_1 , k_2 i k_3 . Wartości progowe zostały wyznaczone eksperymentalnie, a ich wartości przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Kryterium przyporządkowania cząstek do określonych grup

Nazwa grupy	k_1	k_2	k_3
Zwarta (G1)	$k_1 < 25\%$	$k_2 < 10\%$	$k_3 < 15\%$
Bez wyraźnego środka masy (G2)	$k_1 > 25\%$	$k_2 < 10\%$	$k_3 < 15\%$
Porowate aglomeraty (G3)	$k_1 > 25\%$	$k_2 > 10\%$	$k_3 > 15\%$

Komputerowy algorytm klasyfikacji cząstek oparto na trójwarstwowej sieci neuronowej perceptronu wielowarstwowego, którą zaimplementowano do własnego oprogramowania autorskiego (rys. 6) [13]. Cząstki, które nie spełniają wszystkich trzech kryteriów przyporządkowuje się do grupy, dla której spełniona jest największa liczba kryteriów.



Rys. 6. Sieć neuronowa do klasyfikacji cząstek

Zaproponowana sieć neuronowa składa się z dwóch warstw ukrytych, w pierwszej warstwie znajdują się dwa neurony, w drugiej warstwie cztery. Na podstawie dwunastoelementowego zbioru uczącego określono wartości progowe współczynników k_1 , k_2 i k_3 . Badania testowe przeprowadzono na dziewięcioelementowym zbiorze testowym, który został wybrany dla najczęściej występujących cząstek w mieszaninie polidispersyjnej. Przedstawione w pracy rozwiązanie ukazuje możliwość wykorzystania tego typu algorytmów do identyfikacji cząstek. W przypadku zastosowania go do badań eksperymentalnych wymagane jest każdorazowe uczenie sieci oraz przeprowadzenie walidacji i optymalizacji [13].

4. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Przeprowadzono badania eksperymentalne polegające na wyznaczeniu powierzchni A_1 , A_2 i A_3 , dla obrazów cząstek z rysunków 2, 3 i 4. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2. Wartości pól powierzchni obliczono na podstawie liczby pikseli składających się na obraz cząstki.

Tabela 2. Wyniki obliczeń pól powierzchni dla wybranych cząstek. Wartości pola powierzchni podano w liczbie pikseli składających się na obraz cząstki

Nazwa cząstki	A_1	A_2	A_3
Rys.2a	1174	1459	1336
Rys.2b	1851	2221	1981
Rys.2c	1607	1999	1740
Rys.3a	2516	3455	2721
Rys.3b	1847	2743	2052
Rys.3c	1322	1897	1388
Rys.4a-1	2840	3894	3268
Rys.4a-2	2868	3948	3233
Rys.4b	9878	14224	11340

Na podstawie wyników z tabeli 2 obliczono wartości współczynników k_1 , k_2 i k_3 . Ponieważ współczynniki k_1 , k_2 i k_3 stanowią ilorazy pól powierzchni nie zachodzi potrzeba przeliczania pola powierzchni na jednostki metryczne. Wyniki klasyfikacji przedstawiono w tabeli 3. Wartości nie spełniające kryterium przyporządkowania do określonej grupy zostały w tabeli podkreślone.

Tabela 3. Wyniki obliczeń pól powierzchni dla wybranych cząstek. Wartości pola powierzchni podano w liczbie pikseli składających się na obraz cząstki

Nazwa cząstki	k_1 [%]	k_2 [%]	k_3 [%]	Nazwa grupy
Rys.2a	21,65	<u>12,91</u>	8,80	Zwarta (G1)
Rys.2b	18,17	6,78	11,42	Zwarta (G1)
Rys.2c	21,74	7,95	13,85	Zwarta (G1)
Rys.3a	31,45	7,83	23,77	Bez wyraźnego środka masy (G2)
Rys.3b	39,04	<u>10,52</u>	28,82	Bez wyraźnego środka masy (G2)
Rys.3c	35,73	4,87	30,99	Bez wyraźnego środka masy (G2)
Rys.4a-1	31,30	14,01	17,48	Aglomerat porowaty (G3)
Rys.4a-2	31,69	11,97	19,91	Aglomerat porowaty (G3)
Rys.4b	36,06	13,78	22,56	Aglomerat porowaty (G3)

Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 3 zauważono, że w dwóch przypadkach dla cząstek z rysunku 3b i rysunku 2a nie zostało spełnione kryterium k_2 . Dowodzi to słuszności wprowadzenia trzeciego kryterium k_3 oraz poprawności działania algorytmu klasyfikacji cząstek w mieszaninie polidispersyjnej. Algorytm ten klasyfikuje cząstki do określonej grupy na podstawie spełnienia dwóch kryteriów. Rozwiązanie to poprawia niezawodność metody klasyfikacji.

5. PODSUMOWANIE

Zaproponowana w pracy komputerowa metoda klasyfikacji cząstek polidispersyjnej mieszaniny pokoagulacyjnej pozwala w zadowalającym stopniu przeprowadzić zautomatyzowaną klasyfikację cząstek. Zautomatyzowana metoda klasyfikacji znajduje zastosowanie przy analizie zdjęć mikroskopowych takiej mieszaniny. Zagadnienie to jest istotne za względu na to, że w badaniach procesu opadania takich zawiesin konieczna jest wiedza na temat koncentracji poszczególnych frakcji zawiesiny w procesie sedimentacji. Metoda ta może mieć zastosowanie również do klasyfikacji innych zawiesin polidispersyjnych. W celu zastosowania tej metody do innych zawiesin należy na drodze eksperymentalnej wyznaczyć odpowiednie wagi dla współczynników k_1 , k_2 i k_3 .

6. BIBLIOGRAFIA

1. Tzoupanos N.D., Zouboulis A.I.: Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents. 6th IASME/WSEAS International Conference On Heat Transfer, Thermal Engineering And Environment (HTE'08) Rhodes, Greece, August 2008, s. 20-22.
2. Rząsa R. M., Podgórn E.: Investigation of the effects of salinity and temperature on the removal of iron from water by aeration, filtration and coagulation, Pol. J. Environ. Stud. Nr 6 (23), 2014, s. 2157-2151.
3. Albrektiene R., Rimeika M., Lubyte E.: The removal of iron-organic complexes from drinking water using coagulation process. Environmental Engineering The 8th International Conference Vilnius 2011, s. 509-512.

4. Mohd Ariffin Abu Hassan, Tan Pei Li, Zainura Zainon Noor: Coagulation and flocculation treatment of wastewater in textile industry using chitosan, Journal of Chemical and Natural Resources Engineering, Nr 4 (1), 2009, s. 43-53.
5. Świdarska-Bróz M., Krupińska J.: Skuteczność procesu koagulacji w usuwaniu związków żelaza z wód podziemnych. Ochrona Środowiska, Nr 3 (86), 2002, s. 9-13.
6. Zemmouri H., Drouiche M., Sayeh A., Lounici H., Mameri N.: Coagulation Flocculation Test of Keddara's Water Dam Using Chitosan and Sulfate Aluminium Procedia Engineering Nr 33, 2012, s. 254-260.
7. Bergamasco R., Konradt-Moraes L. C., Vieira M. F., Fagundes-Klen M. R., Salcedo Vieira A. M.: Performance of a coagulation-ultrafiltration hybrid process for water supply treatment. Chemical Engineering Journal, Nr 2, 2011.
8. Kłos M., Gumińska J.: Wpływ zmiany rodzaju koagulantu na parametry procesu koagulacji. Ochrona Środowiska, Rok 29, Nr 4, 2007, s. 73-76.
9. Xu Y., Chen T., Ciu F., Shi W.: Effect of reused aluminum-humic-flocs on coagulation performance and floc characteristics formed by aluminum salt coagulants in humic-acid water, Chemical Engineering Journal Nr 287, 2016, s. 225-232.
10. Gumińska J., Kłos M.: Possibilities study of coagulation process optimizing-experience from operation of technological systems with sedimentation and dissolved air flotation, Gaz, woda i technika sanitarna, Nr 5, 2011, s. 195.
11. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: Mechanika płynów w inżynierii i ochronie środowiska, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
12. Rząsa R. M.: Ocena możliwości zastosowania tomografii optycznej w badaniu dwufazowych procesów przepływowych. Polska Akademia Nauk, Katowice 2011.
13. Dawidowicz J.: Badania struktur sieci neuronowych typu MLP do oceny układu stref ciśnienia systemu dystrybucji wody, Civil and Environmental Engineering, Nr 6, 2015, s. 53-59.

COMPUTER CLASSIFICATION OF PARTICLES FOR POLYDISPERSE MIXTURE

The coagulation process is commonly used in water and wastewater treatment processes. The demand for high-quality drinking water is increasing because the number of uncontaminated water sources decreases. During coagulation flocs are formed, and are characterized by different shapes, structures and dimensions. Because of this, removing of this particles may produce some problems for researchers, cause the sedimentation way of this particles is disturbed. In this research is presented method of flocs classification where coefficients k_1 , k_2 and k_3 were calculated. An appropriate value of coefficient k allows to classify consider particle to a specific group. Idea of the classification method consists in calculating surface areas for particle image registered using microscope. After that, the images are analyzed (computer image processing). Analyzed images will be used for future studies, where the settling phenomenon will be describe. In order to apply this method to other suspensions must be experimentally determine the appropriate values of the coefficients k_1 , k_2 and k_3 .

Keywords: coagulation, image processing, classification method, polydisperse mixture.