

Henryk WASĄG, Justyna KUJAWSKA, Mariola CHOMCZYŃSKA*

ZASTOSOWANIE FLOTACJI CIŚNIENIOWEJ DO OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW I ODPADÓW CIEKŁYCH Z GÓRNICTW GAZU ŁUPKOWEGO

Poszukiwaniu, uwalnianiu i eksploatacji gazu ziemnego z formacji łupkowych towarzyszy generowanie dużych ilości odpadów stałych i ciekłych. Stosowane powszechnie w górnictwie amerykańskim metody unieszkodliwiania tego typu odpadów w warunkach Polski nie mogą być brane pod uwagę. Istnieje więc uzasadniona potrzeba rozwoju nowych metod. Taką metodą może być flotacja ciśnieniowa. Proces ten nazywany również flotacją rozpuszczonym powietrzem łączy w sobie istotę procesu flotacji klasycznej i koagulacji. Polega na zmniejszeniu stopnia dyspersji zanieczyszczeń zawartych w ściekach, a następnie wytworzeniu aglomeratów z pęcherzykami powietrza o gęstości pozornej mniejszej od gęstości cieczy i odseparowaniu flotatu.

1. ODPADY WIERTNICZE

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat na całym świecie, w tym także w Polsce, znacznie wzrosło zainteresowanie poszukiwaniem i eksploatacją gazu z węglowodorów niekonwencjonalnych, do których należą gaz z formacji łupkowych, gaz zamknięty w izolowanych porach skalnych, gaz z pokładów węgla oraz hydraty gazowe [1].

Technologia wydobywania gazu z łupków powoduje powstanie odpadów, których zagospodarowanie stanowi problem logistyczny, techniczny i środowiskowy [9].

Odpady powstające przy poszukiwaniu i eksploatacji gazu łupkowego można podzielić na dwie grupy:

- odpady wiertnicze to odpady związane z pracami wiertniczymi, zabiegami intensyfikującymi i testami próbnymi złoża. Są to: zużyta płuczka, zwierzcina i płyn zwrotny, wody złożowe, odpady stałe. Odpady stałe - to odpady powstające podczas oczyszczania płynu zwrotnego np. szlam ze zbiorników,

* Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, j.kujawska@pollub.pl.

- odpady powstające w związku z funkcjonowaniem wiertni, np. tworzywa sztuczne, opakowania, złom metali.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 roku w sprawie Katalogu Odpadów (Dz. U. 2014, poz. 1923) odpady wydobywcze zalicza się do grupy 01, obejmującej odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin, i podgrupy 01 05: płuczki wiertnicze i inne odpady wiertnicze.

Są to odpady przemysłowe powodujące znikome lub średnie zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Z danych przemysłowych wynika, że dla wierceń wykonywanych w złożach niekonwencjonalnych należy przyjąć, że na 1 mb otworu płytszego niż 2000 m wytwarzana ilość odpadów wiertniczych wynosi około 0,4 m³, natomiast przy wierceniach głębszych może dochodzić do 0,8 m³ (z czego od 0,2 do 0,3 m³ to urobek w postaci zwiercin). Średnia ilość możliwych do wygenerowania odpadów na jeden otwór w Polsce wynosi między 2500 a 6000 Mg [18].

Przykładowe ilości i rodzaje odpadów powstałych w następstwie wiercenia do głębokości 3000 m podane zostały w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowe ilości i rodzaje odpadów wytworzonych podczas wiercenia do głębokości 3000 m [18]

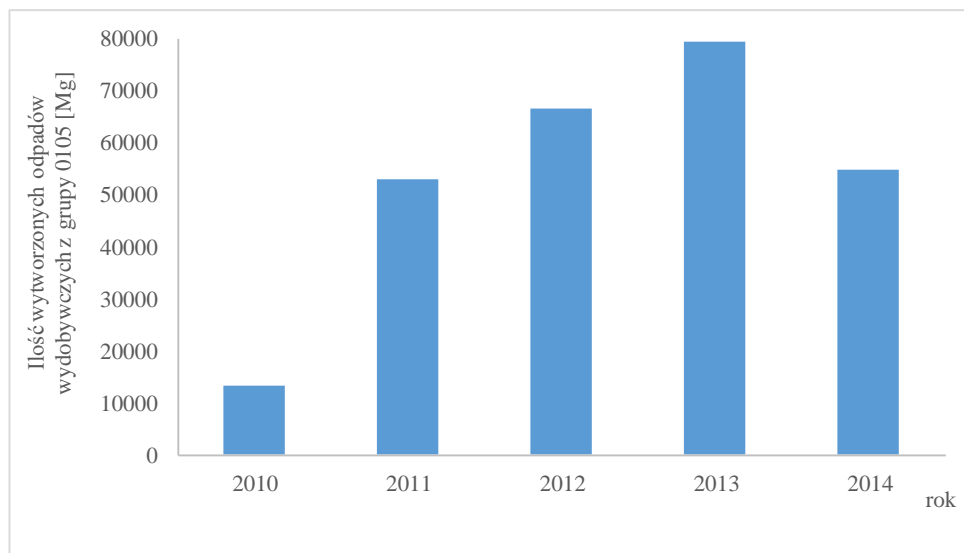
Lp.	Rodzaj odpadu	Orientacyjna ilość w Mg	Orientacyjna ilość w % całości
1.	Zużyta płuczka, zwierciny	2 849	92,0
2.	Odpady z tworzyw sztucznych	0,37	< 0,1
3.	Zużyte oleje	0,5	< 0,1
4.	Zaolejone czysciwo	0,1	< 0,1
5.	Lampy fluorescencyjne i inne odpady zawierające rtęć	0,03	< 0,1
6.	Odpady spawalnicze i zużyte elektrody	0,02	< 0,1
7.	Złom metali żelaza i stali	1,0	< 0,1
8.	Odpady po zabiegach	238	7,7
Razem:		3 089	100

W latach 2010–2015 wykonywano 72 otwory poszukiwawcze gazu łupkowego (stan na 4.01.2016 r.) [20].

Ilość i rodzaj odpadów wiertniczych (podgrupa 01 05) wygenerowanych w latach 2009–2015 na terenie Polski przedstawia rysunek 1.

Odpady wiertnicze należą do odpadów typu mineralno-organicznego. Odpadowe płuczki wiertnicze to układy koloidalne o cechach tiksotropowych. Stanowią one złożone kompozyty drobnodispersyjnych ciał stałych, makromolekuł, polimerów oraz cieczy. W zależności od warunków geologiczno-technologicznych wiercenia oraz typu zastosowanych płuczek wiertniczych, zarówno skład jak i właściwości odpadów

wiertniczych mogą znacząco się zmieniać. Ze względu na ich złożoność chemiczną, wynikającą z wielofunkcyjności, po wykorzystaniu stają się poważnym problemem w kwestii ich zagospodarowania w sposób nieobciążający środowiska [2].



Rys. 1. Ilość odpadów wydobywczych z podgrupy 01 05 wytworzonych w Polsce [12]

Zanieczyszczenia szkodliwe dla środowiska mogą być kumulowane w drobnodispersyjnej frakcji odpadowej płuczek wiertniczych, która stanowi niekiedy około 75% fazy stałej i składa się głównie z krzemianów o strukturze warstwowej (jak smektyt), węglanów (jak kalcyt czy dolomit), a także bezpostaciowej krzemionki bądź wodorotlenków żelaza i manganu. Minerale tego typu kompleksują się z hydrofilnymi makromolekułami i organicznymi polimerami. Charakteryzują się dużą lepkością, niską przewodnością hydrauliczną oraz wysoką wodochłonnością. Kwarc, miki, illit, kaolinit i skalenie, będące resztą składników mineralnych omawianego układu koloidalnego odpadu, formują suspensyjną fazę w środowisku wodnym [3].

Płuczki wiertnicze dyskwalifikują do dalszego wykorzystania następujące cechy:

- zawartość niektórych związków organicznych;
- występowanie metali ciężkich, takich jak chrom, miedź, ołów, cynk;
- obecność soli niektórych pierwiastków alkalicznych w postaci chlorków, zwykle potasu i sodu;
- nadmierna zawartość siarczanów lub wodorowęglanów,
- koloidalno-szlamista postać [4].

Wymienione związki występujące w płuczkach wiertniczych mogą łączyć się koloidalną mikrostrukturą odpadów, co jest istotnym utrudnieniem w procesach gospodarki odpadami [4].

Powstawanie dużych ilości odpadów płynnych w procesach poszukiwania i wydobywania gazu łupkowego jest nieuniknione i dlatego należy podjąć wszelkie możliwe działania technologiczne, aby je właściwie zagospodarować lub zutylicować. Biorąc pod uwagę koszty przygotowania płuczek wiertniczych, należy dążyć do wielokrotnego ich użycia. Z tego powodu poszukiwane są nowe technologie do odzysku zużytych płuczek wiertniczych.

Coraz częściej stosuje się nowe technologie, które pozwalają na usuwanie koloidalnych, drobnodispersyjnych materiałów z płuczek wiertniczych. Metody te nie tylko zwiększają wydajność tradycyjnego systemu oczyszczania płuczki, ale również powodują przedłużoną trwałość płuczek wiertniczych, jak i odzyskanie i ponowne wykorzystanie jej wartościowych składników. Do koloidalnych drobnych materiałów, o średnicy mniejszej niż 2 μm należą: betonit, gliny, baryt, a także ultra drobne zwiercone ciała stałe. Cząstki te są trudne do usunięcia z wykorzystaniem tylko mechanicznych urządzeń, których praca polega na przesiewaniu lub grawitacji. Aby cząstki te zostały skutecznie usunięte z płuczki należy wykorzystać procesy chemiczne [11].

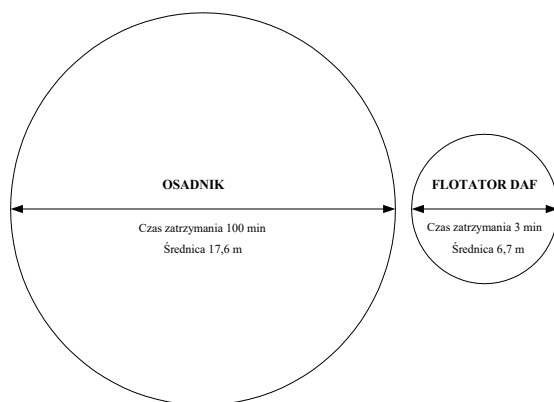
Metoda flokulacji jest jedną z metod usuwania drobnodispersyjnych cząstek. Metoda to może mieć zastosowanie w wiertniach, by poprawić wydajność systemu usuwania ciał i zmniejszyć ilość zużytych płuczek wiertniczych, jak również wprowadzić udogodnienia w rolniczym zagospodarowaniu odpadu. Technika ta polega na wprowadzeniu przez otwór substancji chemicznej do płuczki wiertniczej, a następnie wymieszaniu i odwirowaniu. Podczas flokulacji cząstek znajdujących się w płynach wiertniczych mamy do czynienia z przyleganiem polimeru flokulującego do drobnodispersyjnych cząstek ciał stałych, co prowadzi do tworzenia się dużych skupisk (agregatów) cząstek rozproszonych, które mogą być łatwo oddzielone od płynu w wirówce dekantującej [11].

Przetworzony płyn wiertniczy ma niską gęstość, dzięki czemu może zostać użyty jako podstawa dla nowych płuczek wiertniczych. Przeprowadzone badania pokazały, że płyny te zawierają wartościowe składniki pierwotnego płynu, dzięki czemu mniej produktów należy użyć aby otrzymać płuczkę wiertniczą o odpowiednich parametrach [11].

Podobnym rozwiązaniem jest innowacyjny proces osmozy wymuszonej. Badania wykazały, że jest to skuteczna technologia wtórnego wykorzystania wody odzyskiwanej z odpadowych płuczek wiertniczych, umożliwiającą zmniejszenie zużycia wody z dodatkowych źródeł [6].

2. FLOTACJA

Zgodnie z definicją, flotacja jest procesem separacji mieszanin typu ciało stałe-ciecz lub ciecz-ciecz. Zasadniczo wyróżnia się trzy typy flotacji, a mianowicie: flotację naturalną, wspomaganą i wymuszoną. Flotacja naturalna zachodzi wówczas, gdy różnice w gęstości są naturalnie wystarczające do zajścia procesu separacji. W przypadku flotacji wspomagananej stosowane są zewnętrzne czynniki w celu promowania separacji cząsteczek, które naturalnie unoszą się na powierzchni. Flotacja wymuszona opiera się na zdolności cząsteczek danego ciała stałego lub cieczy do łączenia się z pęcherzykami gazu. Tworzą się w ten sposób połączenia cząsteczka-gaz o pozornej gęstości mniejszej od gęstości cieczy i dzięki temu możliwe jest ich unoszenie się ku powierzchni cieczy. Jedną z tego typu metod jest flotacja ciśnieniowa, zwana również często flotacją rozpuszczonym powietrzem, w skrócie DAF (od angielskiego terminu *dissolved air flotation*). Wiele cząstek zawartych w ściekach lub w wodzie ma małą gęstość, często zbliżoną bądź mniejszą niż medium, w którym są zawarte. Cząstki o gęstości mniejszej od wody mają tendencję do unoszenia się ku jej powierzchni, skąd mogą być zgarniane [10]. Ten rodzaj flotacji do separacji zanieczyszczeń wykorzystuje pęcherzyki powietrza wytworzone w kontrolowanych warunkach dekompresji wody saturowanej. Woda najpierw jest napowietrzana w specjalnej komorze sprężania w warunkach podwyższonego ciśnienia, a następnie kierowana jest do komory flotacji, gdzie po obniżeniu ciśnienia do poziomu ciśnienia atmosferycznego wydzielają się pęcherzyki powietrza. Wytworzone pęcherzyki unoszą się ku powierzchni cieczy, po drodze zderzając się z cząstkami zanieczyszczeń. Podczas zderzeń dochodzi do ich łączenia się w trwałe aglomeraty o pozornej gęstości mniejszej od gęstości wody. Dzięki tej właściwości utworzone aglomeraty unoszą się na powierzchnię cieczy.



Rys. 2. Porównanie osadnika z flotatorem DAF (wymiary urządzeń dla przepływu 6340 m³/d [8])

Ten typ flotacji, który został wynaleziony we wczesnych latach XX wieku, jako metoda rozdziału cząstek, dziś ma wiele zastosowań takich jak [14]:

- oczyszczanie ścieków pochodzących z przemysłu rafineryjnego,
- regeneracja wód popłucznych,
- zagęszczanie osadu oraz separacja kłaczków,
- separacja ciał stałych oraz innych zanieczyszczeń z wody do spożycia,
- usuwanie zawiesiny organicznej, tłuszczu oraz rozpuszczonych toksycznych związków organicznych,
- usuwanie glonów oraz substancji humusowych,
- wzbogacanie rud metali szlachetnych, itp.

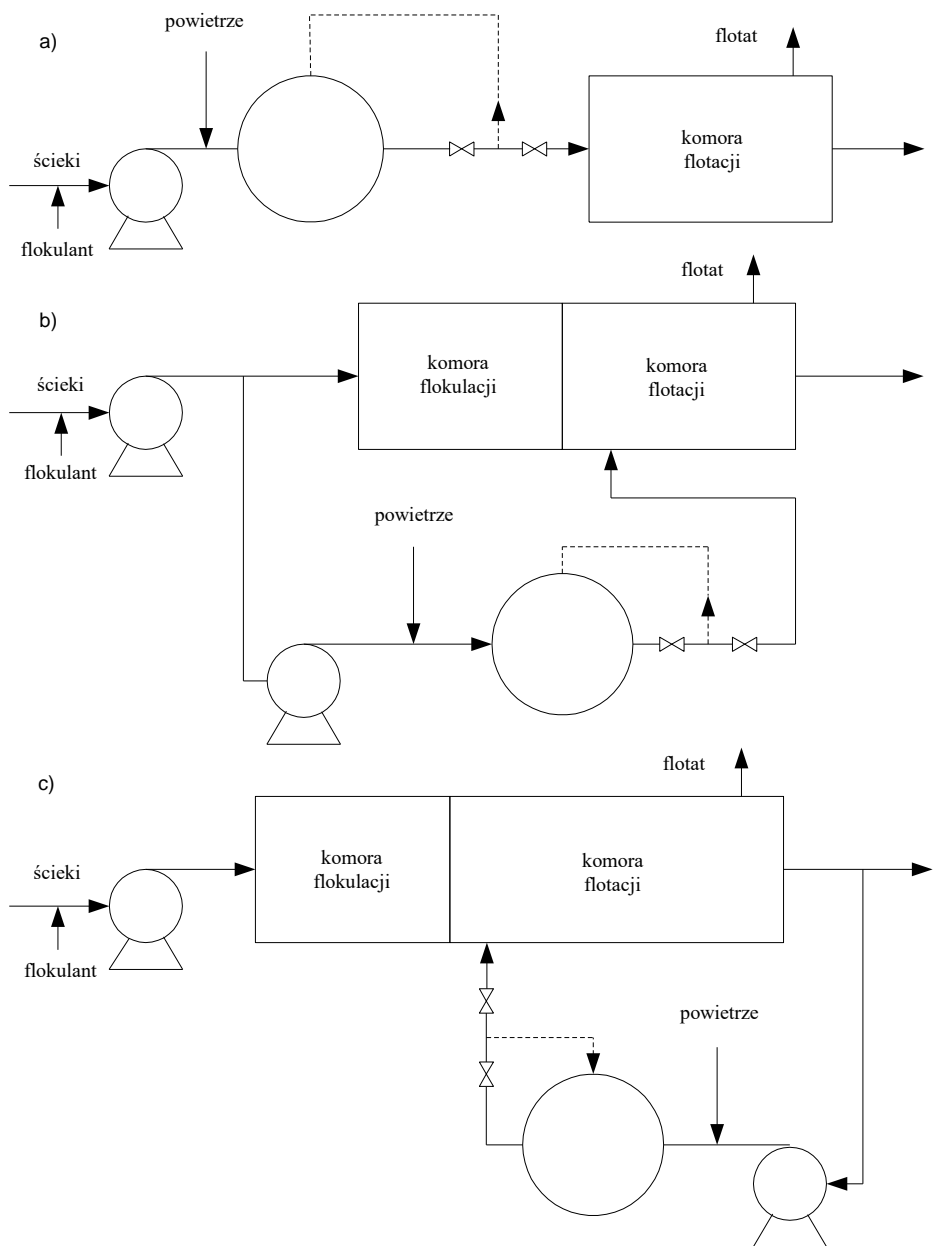
Bardzo dobre efekty oczyszczania ścieków, w porównaniu do konwencjonalnych metod separacji, zwłaszcza sedymentacji, spowodowały znaczący wzrost zainteresowania flotacją. Flotacja rozpuszczonym powietrzem w wielu przypadkach wypiera z użycia do separacji zawiesin procesy bazujące na klasycznej sedymentacji, a obserwowaną tendencję w sposób poglądowy uzasadnia schemat przedstawiony na rys. 2.

Jak widać z zamieszczonego rysunku, czasy wymagane do skutecznej separacji wytworzonych aglomeratów we flotatorze i osadniku wynoszą odpowiednio 3 minuty i 100 minut. Rzutuje to bezpośrednio na średnicę i kubaturę urządzeń. Porównanie parametrów flotatorów i osadników wskazuje, że powierzchnia flotatorów DAF odpowiada 15% powierzchni całkowitej osadników przy tym samym przepływie. Ich kubatura stanowi tylko 5% objętości osadników, a osiągnięty stopień oczyszczenia medium jest porównywalny przy dodatku takich samych flokulantów. Koszty eksploatacji flotatorów są nieco wyższe niż osadników, co jest z nawiązką rekompensowane przez znacząco niższe koszty budowy instalacji [19].

Proces flotacji ciśnieniowej może być przeprowadzany w trzech odmianach konfiguracji: z pełnym przepływem, z rozdziałem wody oraz z przepływem recyrkulowanym [7].

W konfiguracji z napowietrzaniem pełnego przepływu cały strumień dopływających ścieków jest napowietrzany i następnie magazynowany w zbiorniku (saturatorze). System ten ma zastosowanie w przypadku, gdy stężenie zawiesiny ogólnej w dopływających ściekach przekracza 800 g/m^3 . Ewentualny dodatek flokulantów na wlocie powoduje, że pęcherzyki powietrza mogą zostać uwięzione wewnątrz aglomeratów. W efekcie aglomeraty szybko flotują, co przekłada się na wysoką efektywność separacji [19].

We flotacji ciśnieniowej z rozdziałem strumienia przepływu tylko część dopływających ścieków kierowana jest do urządzeń saturujących. Z reguły jest to od 30 do 50% dopływających ścieków. Ścieki poddane saturacji są mieszane z pozostałymi na wlocie do komory flotacji [19]. Do głównych zalet tego systemu możemy zaliczyć redukcję nakładów energetycznych na pracę pomp.



Rys. 3. Konfiguracje procesu flotacji rozpuszczonym powietrzem: a) - z napowietrzaniem całego dopływu, b) - z częściowym rozdzieleniem dopływającego strumienia, c) - z recykulacją przepływu

System flotacji ciśnieniowej z aeracją recykulowanego strumienia charakteryzuje się tym, że część oczyszczonych ścieków z komory flotacji (od 15 do 50%) jest

zawracana, sprężana i częściowa napowietrzana w zbiorniku. Następnie strumień recyrkulatu jest mieszany z pozostałym strumieniem dopływających ścieków tuż przed dopływem do komory flotacji. W rezultacie, tuż za przegrodą dopływową komory, pęcherzyki powietrza wytworzone z fazy wodnej mieszaniny zderzają się z cząstkami zawieszonymi ze ścieków tworząc agregaty, które wypływają na powierzchnię. Konfiguracja ta stosowana jest w przypadkach, gdy niezbędne jest stosowanie przed procesem flotacji dodatków chemicznych i flokulantów.

Flotacja rozpuszczonym powietrzem jest bardzo złożonym procesem a na jej przebieg ma wpływ wiele czynników, do najważniejszych należy zaliczyć [5, 16, 19]:

- rodzaj i skład oczyszczanych ścieków,
- natura i rozmiar separowanych cząstek,
- rodzaj substancji dyspergujących,
- obecność i zawartość zanieczyszczeń w postaci ciekłej,
- dawkowanie chemikaliów wspomagających proces,
- stosunek powietrza do zawartości cząstek stałych,
- stopień recyrkulacji,
- budowa komory flotacji i sposób usuwania flotatu.

Separacja cząstek w przypadku procesu flotacji ma odniesienie do tych samych praw, co proces sedymentacji, jednak w odwróconym polu sił. Jednak wydajności systemu flotacji rozpuszczonym powietrzem nie można przewidzieć na podstawie standardowych parametrów projektowych opartych na obciążeniu hydraulicznym, obciążeniu zanieczyszczeniami i ilości dostępnego powietrza [13, 17]. Z tego powodu prawie w każdej sytuacji zaleca się przeprowadzenie badań oczyszczanych ścieków w skali pilotażowej przed wykonaniem pełnowymiarowego obiektu [8, 15].

3. MATERIAŁY I METODY

W przeprowadzonych badaniach podjęto próby oczyszczania odpadów ciekłych zawierających zużytą płuczkę wiertniczą beziłową z blokatorami. Charakterystykę oczyszczanych ścieków i uzyskiwanych efektów dokonano na podstawie pomiaru pH oraz analiz fizyczno-chemicznych obejmujących oznaczenia suchej pozostałości, wielkości strat przy prażeniu oraz wartości ChZT. Suchą pozostałość i zawartość wody oznaczano metodą wagową zgodnie z PN-EN 12880:2004. Straty przy prażeniu określano stosownie do normy PN EN 12879:2004. Pomiaru pH oczyszczanych ścieków dokonano metodą potencjometryczną zgodnie z PN-EN ISO 10523:2012. ChZT oznaczano metodą spektrofotometryczną PB.03.00, wydanie 4. z dnia 21.01.2011 r. na podstawie testu HACH LANGE LCK 314, LCK 315, LCK 014, LCK 1014.

W przeprowadzonych badaniach wstępnych dokonano porównania uzyskiwanych efektów oczyszczania odpadów ciekłych zawierających zużyta płuczkę wiertniczą beziłową z blokatorami metodą koagulacji objętościowej z efektami uzyskiwanych przy zastosowaniu metody flotacji ciśnieniowej realizowanej w laboratoryjnym zestawie, w sposób periodyczny, w konfiguracji z napowietrzaniem całego dopływu.

Do destabilizacji układu koloidalnego wykorzystano produkowane i dystrybuowane przez Kemipol Sp. z o.o. w Policach różnego typu koagulanty żelazowe i glinowe oraz flokulanty, zarówno jonowe, jak i niejonowe.

Oczyszczane ścieki stanowiły trwałą i zauważalnie tiksotropowy układ koloidalny o niezwykle wysokim ładunku zanieczyszczeń. CHZT badanej próbki wynosiło około $27000 \text{ gO}_2/\text{m}^3$, sucha pozostałość przekraczała $105\ 000 \text{ g/m}^3$, a wielkość strat przy prażeniu określono na poziomie 27,3%. Odpad charakteryzował się lekko alkalicznym odczynem, a zmierzona wartość pH wynosiła 7,52.

4. WYNIKI BADAŃ

Zastosowanie koagulantów żelazowych i glinowych nie doprowadziło do destabilizacji układu i zmniejszenia stopnia dyspersji niezbędnego do wywołania procesu koagulacji. Efekt ten osiągnięto w wyniku zastosowania flokulantów kationowych. W przeprowadzonym dla porównania procesie koagulacji objętość otrzymanego osadu po 24-godzinnej sedymentacji wynosiła w przybliżeniu 25% objętości oczyszczanych ścieków. Proces flotacji rozpuszczonym powietrzem już po kilku minutach umożliwia wydzielenie w odpowiedni sposób flotatu stanowiącego około 12% objętości oczyszczanych ścieków. Dodatkowo charakteryzuje się on bardzo niskim stopniem uwodnienia nie przekraczającym 70%. Uzyskiwane efekty oczyszczania ścieków mierzone stopniem obniżenia CHZT pozostają na zbliżonym poziomie zarówno w procesie koagulacji, jak i flotacji ciśnieniowej, i zawierają się w granicach 55–57%.

Bezpośrednim efektem naukowo-praktycznym przeprowadzonych badań jest opracowanie założeń konstrukcyjnych laboratoryjnego urządzenia do prowadzenia procesu flotacji rozpuszczonym powietrzem. Planowana jest kontynuacja prac badawczych w podjętej tematyce, obejmująca w pierwszym etapie budowę flotatora, a następnie analizę wpływu i optymalizację parametrów eksploatacyjnych pod kątem uzyskiwanych efektów oczyszczania ścieków.

Badania finansowane z działalności statutowej Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej S13/WIS/2015.

LITERATURA

- [1] BŁAŻ S., *Badania laboratoryjne nad opracowaniem składu płuczki wiertniczej do przewiercania formacji łupkowych*, Nafta-Gaz, 2013, No. 2.
- [2] BRYLICKI W., *Czynniki determinujące trwałość betonu i iniekcyjnych zaczynów cementowych*, Sympozjum Naukowo – Techniczne [w:] Cementy w budownictwie, robotach wiertniczych i inżynierskich oraz hydrotechnice, Piła–Płotki, 2001.
- [3] FIJAŁ J., JAMROZIK A., GONET A., STRYCZEK ST., CZEKAJ L., *Zagospodarowanie odpadów wiertniczych w aspekcie ochrony środowiska naturalnego*, [w:] Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna i Wystawa „Nowoczesne metody prac poszukiwawczych i eksploatacyjnych całkowicie bezpieczne dla środowiska naturalnego”, Piła, 10–12.04.2013 r.
- [4] GONET A., *Metody przetwarzania organiczno-mineralnych odpadów wiertniczych w aspekcie ich zagospodarowania*, Praca zbiorowa, Kraków 2006.
- [5] GREGORY J., *Flocculation of fine particles*, [w:] Innovations in Flotation Technology, eds: Mavros P., Matis K.A., NATO Science Series, 1992.
- [6] HICKENBOTTOM K.L., *Forward osmosis treatment of drilling mud and fracturing wastewater from oil and gas operations*, Desalination, 2013, No. 312.
- [7] JODŁOWSKI A., *Badania nad usuwaniem glonów z wody w procesie koagulacji-flotacji ciśnieniowej*, Ochrona Środowiska, 1994, Vol. 16, No. 3–4, 19–23.
- [8] KROFTA M., WANG L.K., *Flotation engineering*, Lenox Institute of Water Technology, 2000.
- [9] MACUDA J., STARZYCKA A., *Problematyka zagospodarowania odpadów wydobywczych powstających przy poszukiwaniu gazu ze złóż niekonwencjonalnych w aspekcie ochrony środowiska*, Zeszyty Naukowe Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 2013, No. 85.
- [10] MANAHAN S.E., *Water Chemistry: Green Science and Technology of Nature's Most Renewable Resource*, 2010.
- [11] McCOSH K., *Invert Fluid Flocculation – A novel Technique for Drilling Fluid Recycling*, JPT, May 2007.
- [12] RAPORTY WOJEWÓDZKIE GOSPODARKI ODPADAMI za lata 2010–2015 dla 9 województw: dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, lubelskie, lubuskie, mazowieckie, pomorskie, podkarpackie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie.
- [13] ROBERTS K.L., WEETER D.W., BALL R.O., *Dissolved air flotation performance*, Proceedings of industrial waste conference, 1978, Vol. 33, 194–199.
- [14] RUBIO J., SOUZA M.L., SMITH R.W., *Overview of flotation as a wastewater treatment technique*, Minerals Engineering, 2002, Vol. 15, No. 3, 139–155.
- [15] SANSALONE VOON J.E., SRINIVASAN V., *Management of invasive species transported in ballast water by dissolved air flotation*, Proceedings of the second international conference of marine bioinvasions, 2001, 119–120.
- [16] SHAMMAS N.K., WANG L.K., *Water Engineering: Hydraulics, Distribution and Treatment*, WILEY, 2015.
- [17] SHAMMAS N.K., WANG L.K., HAHN H.H., *Flotation Technology*, Wang L.K., Shammas N.K. Selke W.A., Aulenbach D.B., Humana Press, 2010.
- [18] STARZYCKA A., *Środowiskowe i prawne aspekty zagospodarowania odpadów powstających w trakcie poszukiwania, rozpoznawania i wydobywania gazu z łupków*, Międzynarodowe Targi Ochrony Środowiska „Poleko”, Poznań 21.11.2012 r.
- [19] WANG L.K., FAHEY E.M., WU Z., *Physicochemical Treatment Processes*, Wang L.K., Hung Y.T., Shammas N.K., The Humana Press, 2005.
- [20] www.pgi.gov.pl.

APPLICATION OF DISSOLVED AIR FLOTATION IN THE TRETMENT OF WASTEWATER AND LIQUID WASTE FROM SHALE GAS MINING

Due to the nature of shale gas deposits, the prospecting, release and exploitation of shale gas is accompanied by large amounts of both solid and liquid waste. The methods of waste neutralization commonly employed in the American mining cannot be used in Poland. Therefore, it is necessary to develop new methods. Dissolved air flotation is one such alternative. The process, also known as dissolved air flotation, combines the process of classic flotation with coagulation. It involves decreasing the dispersion degree of pollutants found in wastewater, creation of agglomerates with air bubbles – the apparent density of which is lower than the density of liquids – and a subsequent separation of scum.