

Janusz Wójtowicz, Wojciech Wasilewski,
Zbigniew Myczkowski, Henryk Ogaza,
Bożena Pluskota, Jerzy Komorowski

Instytut Metali Nieżelaznych
Gliwice

ZASTOSOWANIE FLOTACJI DO OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO

Wstęp

Spośród szeregu metod oczyszczania ścieków przemysłowych, metoda flotacyjnego usuwania i zagęszczania zanieczyszczeń w ostatnich latach budzi coraz szersze zainteresowanie. Dzieje się to dzięki szeregu zaletom tej metody. Flotacja może być jedyną i ostateczną metodą usuwania zanieczyszczeń, szczególnie wtedy, gdy zanieczyszczenia mają charakter jednorodny np. zawiesiny ropy naftowej, tłuszcze, oleje itp. W przypadku bardziej złożonych ścieków, flotację można stosować, jako jedną z metod oczyszczania razem z wstępnym osadzaniem lub rozkładem biologicznym.

Niezależnie od oczyszczania ścieków, doniesienia literatury zawierają informacje o stosowaniu metody flotacji do zagęszczania osadów czynnych (biologicznych), przy czym w wielu przypadkach, mimo znacznie mniejszych gabarytów urządzeń flotacyjnych, uzyskano lepsze wyniki niż wskutek zagęszczania osadu metodą tradycyjną w zagęszczaczach.

W IMN - wykonano na zlecenie Biura Projektów Gospodarki Wodno-Ściekowej "Biprowod" - Warszawa, badania nad flotacyjnym oczyszczaniem kilku rodzajów ścieków.

Niniejszy referat przedstawia wyniki badań oczyszczania ścieków porafinacyjnych w Rafinerii Nafty Czechowice-Dziedzice oraz ścieków z Zakładów Chemii Gospodarczej "Polena" - Nowy Dwór Mazowiecki.

W trakcie badań starano się ustalić czy istnieje możliwość usunięcia ze ścieków, występujących w formie odrębnej fazy, zanieczyszczeń typu tłuszczów, olejów, ropy naftowej lub innych organicznych substancji oraz którą z metod i urządzeń do flotacji najlepiej do tego zastosować (flotownik mechaniczny, pneumatyczny, flotację ciśnieniową itp.).

Przebadano także wpływ odczynników koagulujących i napowietrzania.

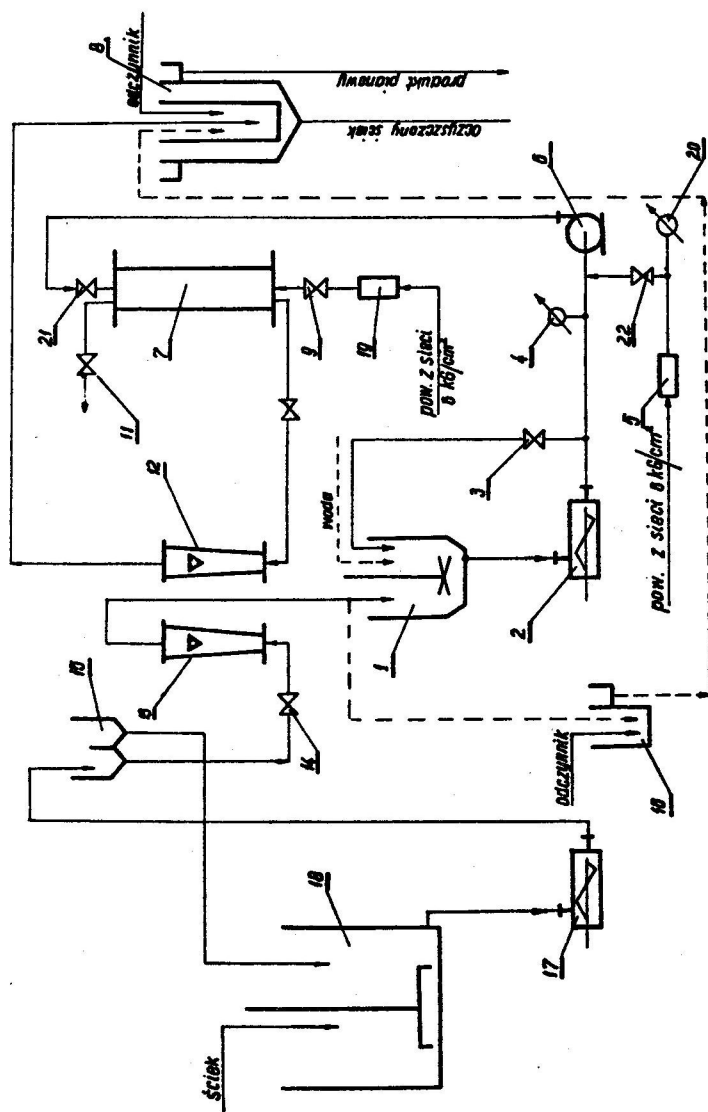
Aparatura

Do badań flotacji ścieków użyto typowych maszyn flotacyjnych laboratoryjnych:

maszynki agitacyjnej typu "Mechanobr",
maszyny pneumatyczno-mechanicznej typu IZ - konstrukcji i produkcji IMN oraz specjalnej instalacji do flotacji ciśnieniowej.

Schemat instalacji zastosowanych do próby ciśnieniowej flotacji ścieków przedstawiono na rysunku 1. Instalacja pozwalała na prowadzenie prób flotacji ścieków w trzech wersjach, a mianowicie:

- flotacji ciśnieniowej ścieku z zastosowaniem pomp jako elementu tłoczącego ściek do flotownika,
- flotacji ciśnieniowej "pneumatycznej", w której powietrze sprężone rozpuszczane w ścieku jest równocześnie czynnikiem tłoczącym,
- flotacji ciśnieniowej z zastosowaniem napowietrzanej wody lub napowietrzonego ścieku oczyszczonego ("recyrkulacją").



Rys. 1. Schemat instalacji do flotacji ciśnieniowej ścieków - wersja II

W przypadku flotacji ciśnieniowej z zastosowaniem pomp ściek z mieszalnika (18) tłoczono pompą śrubową (17) do rozdzielacza (15) skąd przez rotametr (13) kierowany był do układu ciśnieniowego przez mieszalnik (1), pompą śrubową (2).

Ciśnienie ścieku w układzie regulowano dławieniem zawrotu pompy za pomocą zaworu (3) oraz kontrolowano za pomocą manometru (4). Układ ciśnieniowy składał się z pompy śrubowej (2), pompy odśrodkowej (6), zbiornika ciśnieniowego (7), zaworu odcinającego (10), rotametu (12) i dyszy znajdującej się we flotowniku.

Pompę odśrodkową (6) zastosowano w celu zwiększenia efektu rozpuszczania powietrza w tłoczonym ścieku, natomiast zbiornik ciśnieniowy pozwalał na odprowadzenie nierozpuszczonego powietrza przez zawór odpowietrzający (11) do atmosfery, zabezpieczając tym samym flotownik przed występowaniem periodycznych zaburzeń wywołanych wpływaniem z dyszy powietrza nierozpuszczonego. Zjawisko takie obserwowano w próbach wstępnych z wersją I instalacji.

Rotametr (12) zastosowano w celu kontroli natężenia przepływu w układzie ciśnieniowym i sygnalizacji w przypadku zatkania dyszy.

Powietrze sprężone doprowadzono poprzez regulator małych przepływów (5), który pozwalał na dokładną i stabilną regulację jego ilości w zakresie 0,1-1 Nl/min do króćca ssącego pompy odśrodkowej.

Problem ten rozwiązano w ten sposób, że do króćca ssącego pompy odśrodkowej wspawano równolegle do osi króćca, rurkę stalową zakończoną dyszą o średnicy 1 mm.

Ciśnienie powietrza kontrolowano za pomocą manometru (20). Regulator małych przepływów zabezpieczono zaworem (22). W przypadku flotacji ciśnieniowej "pneumatycznej" zbiornik ciśnieniowy napełniano ściekiem za pomocą pompy śrubowej (2) a następnie odcinano od układu za pomocą zaworów (21) i (22).

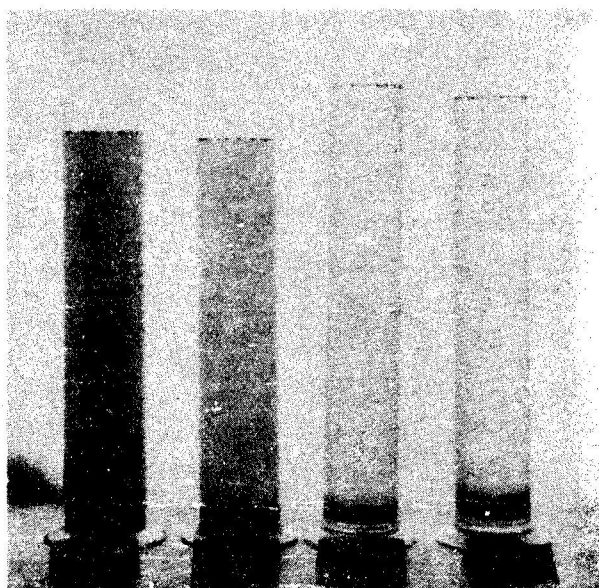
Do zbiornika ciśnieniowego, po otwarciu zaworu (9) doprowadzano powietrze sprężone utrzymując wymagane ciśnienie za pomocą reduktora (19). Proces napowietrzania ścieku w zbiorniku ciśnieniowym prowadzono przez określony czas, wpuszczając powietrze nierozpuszczone zaworem (11). Następnie otwierano zawór (10) doprowadzając ściek do flotownika. Natężenie przepływu ścieku kontrolowano rotametrem (12). W czasie tak prowadzonego procesu reduktor (19) utrzymywał stałe ciśnienie w zbiorniku ciśnieniowym.

Flotownik posiadał komplet wymiennych dysz o średnicy 2,2, 2,4 i 2,6 mm dla ciśnień roboczych 2,3 i 4 kg/cm². Rozwiązanie to pozwalało prowadzić próby flotacji z zachowaniem stałego czasu przepływu ścieku przez flotownik (ok. 10 min) przy zmiennym ciśnieniu lub zmieniać czas przepływu ścieku przez flotownik, przy stałym ciśnieniu.

W przypadku flotacji ciśnieniowej z zastosowaniem napowietrzanej wody czy oczyszczonego ścieku, ściek z rozdzielacza kierowany był przez zbiornik (16) wprost do flotownika (8), przy czym ilość ścieku regulowano zaworem (14) kontrolując natężenie przepływu rotametrem (13). Napowietrzoną wodę lub oczyszczony ściek doprowadzano do układu ciśnieniowego przez mieszalnik (1).

Dostarczane do badań ścieki każdorazowo w ilości 700 l (w 7 beczkach polietylenowych), wlewano do przemysłowej maszyny flotacyjnej IZ-1, która służyła jako zbiornik - mieszalnik. Po wymieszaniu ścieków pobierano próbki dla oznaczenia pH, ilości zawiesin, CZT i zawartości tłuszczów. Wstępny dobór rodzaju i ilości odczynników dokonywany był na podstawie wizualnych testów koagulacji ścieków pod działaniem badanych odczynników. Do określonej objętości ścieków (0:5 l) dodawano wzrastające dawki odczynnika ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, organiczne polielektrolity). Ustalano w ten sposób, z którym odczynnikiem i przy jakiej jego dawce osiągnano najlepszy efekt koagulacji za-

wiesiny. Jak można zauważyć na rys. 2 test taki był prosty do wykonania i odczytania. W badaniach ścieków, w szczególności pochodzących z rafinerii ropy naftowej stwierdzono, że efekty oczyszczania flotacyjnego są paralelne z efektami koagulacji przy badaniu wpływu odczynnika. Po wytypowaniu najskuteczniej działającego odczynnika przystępowano do prób flotacji. Flotację wykonywano w aparatach mechanicznych, pneumatyczno-mechanicznych oraz w instalacji do flotacji ciśnieniowej.



Rys. 2. Działanie $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ jako koagulanta
1 - bez $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 2 - 50 mg/l, 3 - 100 mg/l, 4 - 150 mg/l

W próbach flotacji w flotownikach mechanicznych i pneumatyczno-mechanicznych badano wpływ czasu flotacji, stop-

nia napowietrzania, szybkości obrotów wirnika, wpływu odczynników. W próbach flotacji ciśnieniowej badano wpływ szybkości nadawania napowietrzonych ścieków, stopniach napowietrzenia (różne ciśnienia przy napowietrzaniu), ustalano czy korzystnie jest napowietrzać cały ściek czy też przyjąć wariant z napowietrzaniem części ścieku recyrkulowanego oraz wpływ odczynników koagulacyjnych. Ze względu na ograniczoną objętość ścieków do badań, próby z tak zwaną recyrkulacją imitowano w ten sposób, że napowietrzano wodę wodociągową, którą następnie przez odpowiednią dyszę wprowadzano do flotownika. Osobnym przewodem kończącym się tuż obok dyszy wprowadzano wtedy nienapowietrzony ściek.

W przypadku napowietrzania całości ścieku, wprowadzany był on do flotownika przez dyszę. Obok dyszy dozowany był odczynnik, przy pomocy specjalnej pompki dozującej f-my "Unipan" Warszawa.

W próbach z recyrkulacją odczynniki kierowane były do naczynia przelewowego, które bezpośrednio zasilало ściekami flotownik.

Próby flotacji ciśnieniowej przeprowadzano kolejno, nie opróżniając flotownika ani żadnego zbiornika układu, chyba że przechodzono z alternatywy napowietrzania całości ścieku na napowietrzanie wody (proces z recyrkulacją). Opróżniano wtedy mieszalnik i zbiornik ciśnieniowy i napełniano je wodą.

Pojedynczą próbę w określonych warunkach prowadzono w takim czasie, który przy danych przepływach wystarczał na dwukrotną wymianę cieczy we flotowniku. W ciągu całego czasu odbierano produkt pianowy zawierający zanieczyszczenia. Ilość produktu pianowego oznaczano wagowo.

Ściek oczyszczony wypuszczano w ciągu całego czasu próby. Próbki do oznaczeń pobierano w ciągu ostatniej minuty trwania każdego doświadczenia.

Efekt oczyszczania oceniano wynikami oznaczeń chemicznego zapotrzebowania tlenu (CZT) i w niektórych przypadkach zawartości tłuszczu i ilości zawiesiny.

Wyniki prób oczyszczania ścieków

Oczyszczanie ścieku z Rafinerii Nafty - Czechowice-Dziedzice.

Ściek porafineryjny pobrano z głównego kolektora ścieków Rafinerii Nafty - Czechowice-Dziedzice. Po przetransportowaniu go do Instytutu, usunięto z powierzchni wydzieloną oleistą warstwę ropy i wymieszano w mieszalniku. Po wymieszaniu ściek był silnie mętny, barwy brunatnej i intensywnym zapachu ropy naftowej. Ściek charakteryzował się ponadto wartością pH-7,8, CZT-288 mg/l ilością zawiesiny na sączku - 363 mg/l. Dla ustalenia granicznej możliwości oczyszczenia, próbkę ścieku skoagulowano, przesączono i w przesączu oznaczono CZT. Wyniosło ono 5,3 mg/l O_2 .

Rodzaj i optymalną ilość odczynnika koagulacyjnego ustalono opisaną uprzednio metodą wizualnych testów koagulacji. Okazało się, że spośród kilku koagulantów ($FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, polielektrolity organiczne) najskuteczniej działa siarczan glinu w ilości około 100 mg $Al_2(SO_4)_3$ · 18 H_2O /l ścieku. Przy mniejszych jego ilościach koagulacja zawiesiny była niepełna, zwiększenie ilości koagulantu (powyżej ustalonej wartości optymalnej) nie przyspieszało koagulacji.

W tablicy 1 przedstawiono wyniki flotacji ścieku w maszynie flotacyjnej typu mechanicznego.

W czasie prowadzenia próby zaobserwowano brak zdolności tworzenia się piany. Wyniki były niezadowalające i to skłoniło do rezygnacji z przeprowadzenia dalszych prób w flotownikach pneumatyczno-mechanicznym i pneumatycznym, tym bardziej, że wyniki uzyskane metodą flotacji ciśnie-

Tablica 1

Wyniki prób oczyszczania ścieków z rafinerii ropy
w laboratoryjnym flotowniku mechanicznym

Nr pró- by	Dawka $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ • $18 \text{H}_2\text{O}$ mg/l	Charakterystyka ścieku po oczyszczaniu			
		CZT mg/l O_2	Zawie- sina mg/l	Redukcja CZT %	
1	0	147,1	442	48,9	ściek silnie mętny, barwy brunatnej
2	100	196,2	573	31,9	ściek silnie mętny, barwy brunatnej
3	200	207,7	531	27,9	ściek silnie mętny, barwy brunatnej

niowej były o wiele lepsze. Ujęto je w tablicach 2, 3, 4, 5 i 6. Przeprowadzone badania nad oczyszczaniem ścieków metodą flotacji ciśnieniowej miały określić wpływ na stopień oczyszczania ścieku takich czynników jak: ciśnienie, ilość koagulanta, szybkość przepływu ścieku przez flotownik, ilość napowietrzanej wody wodociągowej. Do badań wpływu napowietrzania ścieków pod różnym ciśnieniem (tablica 2) przyjęto jako parametr stały - ilość $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ równą 100 mg/l. Jednak dla stwierdzenia w jakim stopniu ilość koagulanta wpływa na oczyszczanie ścieku, w tablicy 3 zestawiono wyniki flotacji z zastosowaniem różnych ilości odczynnika.

Uzyskane wyniki CZT świadczą o tym, że w drodze flotacji następuje znaczne oczyszczenie ścieków. Wyniki zamieszczone w tablicy 2 wskazują, że przy najniższym ciśnieniu napowietrzania (2 kg/cm^2) osiąga się na tyle niskie CZT, że wzrost ciśnienia do 4 kg/cm^2 nie ma praktycznie wpływu na dalsze jego obniżenie.

Tablica 2

Wpływ ciśnienia na efekt oczyszczenia ścieków
z produktów naftowych

Nr próby	Ciśnienie kg/cm ²	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
		Ilość prod. pian. %	CZT mg/l O ₂	Redukcja CZT %	
1	2	4,01	21,1	92,7	ściek lekko opalizujący pozbawiony zabarwienia i woni
2	3	1,86	18,3	93,6	ściek lekko opalizujący pozbawiony zabarwienia i woni
3	4	1,25	19,0	93,4	ściek lekko opalizujący pozbawiony zabarwienia i woni

Pozostałe warunki flotacji: szybkość przepływu 6,3 - 6,95 l/min, powietrze 1 l/min.

Próba 4 (tablica 2) przeprowadzona została w nieco odmiennych warunkach niż trzy pozostałe w tej serii. W tablicy 4 przedstawione wyniki otrzymane przy różnych przepływach (próby 1 i 2) dla ustalenia niezbędnego czasu flotacji.

Jak można ocenić, dwukrotne niemal zwiększenie szybkości przepływu nie podwyższyło CZT, a zatem można sądzić, że przepływ winien być taki aby turbulencja nie powodowała zniszczenia struktury wyniesionego na powierzchnię osadu. Dla samego natomiast aktu flotacji czas przepływu najprawdopodobniej nie odgrywa roli, gdyż koalescencja wydzie-

Tablica 3

Wpływ ilości $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
na efekt oczyszczenia ścieków z produktów naftowych

Nr próby	Ilość $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ mg/l	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
		Ilość prod. pianow. %	CZT mg/l O_2	Redukcja CZT, %	
1	0	1,30	39,2	86,4	ściek dość mętny, lekka woń ropy, barwa jasnobrązowa
2	50	2,45	39,6	86,2	ściek dość mętny, lekka woń ropy, barwa jasnobrązowa
3	100	4,01	21,1	92,7	ściek lekko opalizujący, pozbawiony barwy brązowej i zapachu

Pozostałe warunki flotacji: przepływ 6,2-6,95 l/min, powietrze 1 l/min, ciśnienie 2 kg/cm^2 (w próbie 1-4 kg/cm^2).

lonych z roztworu pęcherzyków powietrza z zawiesiną następuje przypuszczalnie bezpośrednio po redukcji ciśnienia w dyszy.

Próba 3 w tablicy 4 została wykonana nieco inną techniką, co miało na celu ewentualne uproszczenie aparatury i techniki wykonywania prób. Otóż z napełnionego zbiornika ciśnieniowego wytłoczono ściek do flotowania sprężonym powietrzem bez pracy pomp. Wyniki oczyszczania w takim układzie odbiegają dosyć znacznie od pozostałych. Pozostawiony bez przepływu ściek w zbiorniku ciśnieniowym uległ

Tablica 4

Wpływ wydajności przepływu
na efekt oczyszczenia ścieków z produktów naftowych

Nr pró- by	Prze- pływ l/min	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
		Ilość prod. piano- wego %	CZT mg/l O ₂	Reduk- cja CZT	
1	6,2	1,25	19,0	94,4	ściek lekko opa- lizujący pozba- wiony zabarwienia i woni
2	11,3	2,78	19,9	94,1	ściek lekko opa- lizujący pozba- wiony zabarwie- nia i woni
3	6,4	4,71	35,0	87,9	ściek o barwie słabo brązowej i lekkiej woni nafty

Pozostałe warunki flotacji: ciśnienie 4 kG/cm² (w próbie 3-3 kG/cm²) Al₂(SO₄)₃ · 18 H₂O - 100 mg/l, powietrze 1 l/min.

przypuszczalnie częściowemu rozwarstwieniu i stąd być może, niejednorodny ściek został opróbowany w momencie, w którym do wylewu flotownika trafiła partia ścieków bogatsza w zanieczyszczenia. Uzyskany wynik CZT dyskwalifikuje uproszczony sposób prowadzenia prób (bez pompowania ścieków). W dalszych badaniach nie był już stosowany taki sposób flotacji.

Kolejną serię prób przedstawiono w tablicy 5. Miała ona na celu ustalić optymalny stosunek napowietrzanego "recyrkulowanego" ścieku (w warunkach prób była to woda wodociągowa) do ścieku świeżo wprowadzanego do flotacji.

Tablica 5

Wpływ ilości napowietrzonej wody wodociągowej
na efekt oczyszczenia ścieków z produktów naftowych

Nr pró- by	Stosunek wody do ścieków	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
		CZT mg/l O ₂	CZT wyli- czone mg/l O ₂	Reduk- cja CZT %	
1	1 : 1	12,40	19,3	93,3	ściek bezbarwny, bezwonny, lekko opalizujący
2	1 : 2	15,25	20,4	92,9	ściek bezbarwny bezwonny, lekko opalizujący
3	1 : 5	15,85	18,0	93,8	ściek bezbarwny bezwonny, lekko opalizujący

Pozostałe warunki flotacji: przepływ 9,0-10,6 l/min, ciśnienie 3 kG/cm² Al₂(SO₄)₃ · 18 H₂O - 100 mg/l ścieku.

Dosyć szeroki zakres zmiany tego stosunku nie odzwierciedlił się w zmianach CZT oczyszczonego ścieku. W następnych badaniach, wykonywanych dla innego ścieku typu rafineryjnego, powtórzono próby ustalające wpływ ilości odczynnika, przy czym zagęszczono punkty badań, a ponadto wykonano jedną próbę z zastosowaniem FeCl₃. Wyniki prób zamieszczone w tablicy 6 pokrywają się z obserwacjami koagulacji. W ten sposób uzyskano również potwierdzenie, że stosowana metoda wstępnego doboru odczynników do flotacji ścieków jest miarodajna. Powtórzono również próby określenia wpływu czasu flotacji (wydajności przepływu ścieku) na stopień oczyszczania ścieku w wariacie recyrkulacji oczyszczonego ścieku (wody wodociągowej), uprzednio napowietrzonego. Uzyskane wyniki (tablica 7) nie odbiega-

Tablica 6

Wpływ dawki $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
na efekt oczyszczania ścieków z produktów naftowych

Nr pró- by	Dawka $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu	
		CZT mg/l O_2	Redukcja CZT %
1	0	19,9	93,1
2	50	14,4	95,0
3	75	11,0	96,2
4	100	9,8	96,6
5	200	11,4	96,0
6	100	14,2	95,1

Pozostałe warunki flotacji: przepływ 6,4 l/min, ciśnienie 3 kg/cm^2 , powietrze 1 l/min, w próbie 6 zastosowano - FeCl_3 .

ją od uzyskanych w serii badań, której wyniki zamieszczone są w tablicy 4.

Tablica 7

Wpływ wydajności przepływu
na efekt oczyszczania ścieków z produktów naftowych

Nr próby	Prze- pływ l/min	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
		CZT mg/l O_2	Zawiesina mg/l	CZT wyli- czone mg/l O_2	Redukcja CZT %
1	4,5	17,07	38,0	27,1	90,6
2	9,0	15,25	16,9	20,4	92,9
3	14,0	15,05	24,7	20,1	93,0

Pozostałe warunki flotacji: stosunek napowietrzonej wody do ścieków 1:2, ciśnienie 3 kG/cm², $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ - 100 mg/l.

Oczyszczanie ścieków z Zakładu Chemii Gospodarczej
"Pollena" - Nowy Dwór Mazowiecki

Ścieki z Zakładów "Pollena" w Nowym Dworze Mazowieckim pobierano dwukrotnie. Ścieki pobierane w pierwszym terminie posiadały silny zapach (z 4 G), barwę żółtą, lekko opalizującą. Były mętne i posiadały część zawiesiny w postaci lepkiej mazi, konsystencji towotu. Ponadto charakteryzowały się: pH - 6,5, CZT - 1842 mg/l O₂, zawiesiną - 546 mg/l O₂ i obecnością tłuszczu - 52 mg/l.

CZT ścieku po skoagulowaniu i odsączeniu - 330 mg/l O₂. Oczyszczano go w flotowniku mechanicznym i flotowniku pneumatyczno-mechanicznym.

Flotację z zastosowaniem flotownika mechanicznego wykonano w maszynie flotacyjnej "Mechanobr". Uzyskane wyniki w zależności od czasu flotacji i rodzaju stosowanego koagulantu podaje tablica 8.

Przeprowadzone próby wykazały małą przydatność flotownika typu mechanicznego do oczyszczania tego rodzaju ścieku. Duża ilość produktu pianowego była wynikiem trudności w jego odbiorze. Brak równomiernego pokrycia pianą powierzchni cieczy stwarzał potrzebę utrzymywania wysokiego poziomu, co powodowało wychłapywanie się ścieków do produktu pianowego. Stosowane koagulanty nie poprawiły efektów oczyszczania.

Próby flotacji w urządzeniu pneumatyczno-mechanicznym wykonano w celi flotacyjnej o objętości 2 l, stosując dodatkowo ruszt do uspokojenia górnej warstwy ścieków. Uzyskane wyniki w zależności od stosowanych prędkości obrotowych wirnika, ilości tłoczonego powietrza i dozowania siarczanu glinu ujęto w tablicy 9.

Tablica 8

Wyniki oczyszczania ścieków z "Polleny"
w flotowniku mechanicznym

Nr próby	Odczynnik	Dawka mg/l	Czas min	Ilość prod. pianowego %	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
					CZT mg/l O ₂	Zawiesina mg/l	Tłuszcz mg/l	Redukcja CZT %
1			6	18,6	552	68	10	70,0
2	FeSO ₄	100	6	19,1	568	117	15	69,1
3	Al ₂ (SO ₄) ₃	100	6	14,5	524	195	25	71,5

Tablica 9

Wyniki oczyszczania ścieków z "Polleny"
w flotowniku pneumatyczno-mechanicznym

Nr próby	Obroty wirnika h/min	Ilość powiet. m ³ /h	Ilość produktu pianowego %	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
				CZT mg/l O ₂	Zawiesina mg/l	Tłuszcze mg/l	Redukcja CZT %
1	1400	0,12	17,0	441	181	40	76,1
2	1400	0,25	21,3	421	220	71	77,2
3	2000	0,12	30,3	370	165	43	79,9
4	1400	0,12	33,3	472	180	33	74,4

W próbie 4 dodano 100 mg/l Al₂(SO₄)₃ • 18 H₂O

W trakcie prób stwierdzono te same trudności z odbiorem produktu pianowego, jak w flotowniku mechanicznym. Potwierdzone zostały doniesienia literaturowe o celowości podwyższenia prędkości obrotowej wirników (próba 3), co związane jest z polepszeniem dyspersji powietrza. Nie stwierdzono wpływu dodatku koagulantu na efekt oczyszczania. Jest to spowodowane prawdopodobnie tym, że burzliwy przepływ w maszynie typu pneumatyczno-mechanicznego powoduje zniszczenie efektów koagulacji.

Ścieki pobrane w drugim terminie charakteryzowały się podobnie jak poprzednio silnym zapachem gnilnym, barwą szarżółtą, silnym zmętnieniem

pH	- 5,0
CZT	- 6509,4 mg/l O ₂
zawiesina	- 854 mg/l
tłuszcze	- 263 mg/l
CZT po skoagulowaniu	- 306,9 mg/l O ₂ .

Do badań oczyszczania ścieków postanowiono stosować na podstawie wizualnych testów koagulacji:

Al₂(SO₄)₃ w ilości 200 mg/l
FeCl₃ " 150 mg/l
oraz FeCl₃/150 mg/l z dodatkiem polielektrolitu kationowego w ilości 10 mg/l.

Biorąc pod uwagę otrzymane uprzednio negatywne wyniki oczyszczania metodami klasycznej flotacji, badania ograniczono do flotacji ciśnieniowej.

Wyniki flotacji ciśnieniowej w zależności od rodzaju koagulantu ilustruje tablica 10. Biorąc pod uwagę redukcję CZT wszystkie wyniki, nawet bez dodatku koagulantu należy uznać za bardzo dobre. Szczególnie w próbie 4, w której stosowano koagulację chlorkiem żelaza z polielektrolitem Zetag-92, uzyskano obniżenie CZT do poziomu ścieków skoagulowanych i przesączonych (306,9 mg/l O₂).

Tablica 10

Wpływ rodzaju stosowanego koagulantu
na efekt oczyszczania ścieków z "Polleny"

Nr próby	Odczynnik	Dawka koagulan- ta mg/l	Ilość produk- tu pia- nowego %	Charakterystyka ścieku po oczyszczeniu			
				CZT mg/l O ₂	Zawiesiny mg/l	Tłuszcze mg/l	Redukcja CZT %
1			4,8	339,3	359	42,0	94,8
2	Al ₂ (SO ₄) ₃ • • 18 H ₂ O	200	6,2	337,7	200	13,0	94,8
3	FeCl ₃	150	12,7	318,8	206	14,0	95,1
4	FeCl ₃ + flok. ka- tionowy	150 10	15,5	306,7	154	15,0	95,3

Pozostałe warunki flotacji: przepływ - 7,5 l/min, ciśnienie - 3 kg/cm², powietrze -
1 l/min.

Wpływ koagulacji uwidocznił się także lepszym usunięciem ze ścieku zawiesiny i tłuszczu.

Jednocześnie stwierdzono, że koagulacja znacznie stabilizuje proces i ułatwia odbiór produktu pianowego.

Kolejną serię prób wykonano z zastosowaniem napowietrzanej wody wodociągowej jako czynnika napowietrzającego ściek i imitującego cyrkulację. Ściek i koagulant (FeCl_3 - 150 mg/l) podawano do zbiornika, skąd przelewem przepływał do flotownika, gdzie następowało wymieszanie z napowietrzoną (pod ciśnieniem 3 kg/cm^2) wodą. Uzyskane wyniki w zależności od ilości napowietrzanej wody wodociągowej w stosunku do oczyszczonych ścieków pokazuje tablica 11.

Nie stwierdzono w badanym zakresie wpływu ilości napowietrzanej wody na redukcję CZT. Bezwzględny spadek CZT o około 95% tak z recyrkulacją jak i bez recyrkulacji należy uznać za bardzo dobry.

Przeprowadzone badania oczyszczania ścieków metodami flotacji pozwoliły osiągnąć zamierzony cel, wykazały możliwość oczyszczania badanych ścieków oraz pozwoliły opracować i opanować metodykę badawczą.

Stwierdzono we wszystkich badanych przypadkach ścieków, że najskuteczniejsze oczyszczanie zachodzi przy zastosowaniu ciśnieniowej metody flotacji. Zastosowanie klasycznych urządzeń flotacyjnych daje znacznie gorsze efekty usunięcia zanieczyszczeń ze ścieków.

Bardzo ważną rolę w doborze warunków flotacji odgrywa dobór odczynników koagulujących. Wpływ dodatku odczynników tego typu ujawnił się podczas prób z wszystkimi wytypowanymi do badań ściekami. Przyjęcie przy tym metody wstępnego doboru odczynników polegającej na ocenie szybkości koagulacji zawiesiny występującej w ściekach pod wpływem badanego odczynnika okazało się trafne.

Porównując obserwacje szybkości koagulacji przy różnych rodzajach koagulantów, względnie przy różnych ich ilość-

Tablica 11

Wpływ ilości napowietrzonej wody wodociągowej
na efekt oczyszczania ścieków z "Polleny"

Nr próby	Stosunek wody do ścieków	Ilość prod. pianow. %	Charakterystyka ścieku po oczyszczaniu				
			CZT mg/l O ₂	Zawiesina mg/l	Tłuszcze mg/l	CZT wyliczone	Redukcja CZT %
1	1:1,5	11,8	209,8	144	12,0	337,3	94,8
2	1:2	8,7	218,3	207	15,0	315,8	95,1
3	1:3	6,8	242,4	162	12,0	315,0	95,2

Pozostałe warunki flotacji: przepływ 5,95-7,95 l/min., ciśnienie - 3 kg/cm²,
FeCl₃ - 150 mg/l ścieku, powietrze - 1 l/min.

ciach z wynikami flotacyjnego oczyszczania ścieków stwierdzono, że we wszystkich badanych przypadkach najlepsze oczyszczanie ścieków osiąga się przy tych samych odczynnikach, tak pod względem jakościowym jak i ilościowym, przy których osiąga się najszybszą i najlepszą koagulację.

Istotnym parametrem wydawała się być ilość rozpuszczonego powietrza doprowadzonego do flotownika i po redukcji ciśnienia wydzielanego z roztworu. Parametr ten zmieniano w badaniach dwoma sposobami: przez różne ciśnienie napowietrzania lub przez zmiany ilości napowietrzanego roztworu mieszanego z oczyszczanym ściekiem w próbach imitujących układ z recyrkulacją ścieku. Wbrew oczekiwaniom nie stwierdzono wyraźnej poprawy efektów oczyszczania przy zwiększeniu ilości rozpuszczonego powietrza.

Zjawisko to świadczy o bardzo niskim zapotrzebowaniu powietrza dla wyflotowania zanieczyszczeń i w konsekwencji pozwalać będzie na ograniczenie objętości napowietrzanych ścieków. Możliwy jest zatem proces flotacji z recyrkulacją części (20-30%) oczyszczonego ścieku, bądź też nawet napowietrzania części nieoczyszczonego ścieku i skierowania go wspólnie z nienapowietrzonym do flotownika. Jest to bardzo istotny element w ekonomice procesu oczyszczania, gdyż napowietrzanie jest niewątpliwie najdroższą operacją w całym procesie.

Wpływ czasu przepływu ścieków przez urządzenie flotacyjne okazał się także istotny w badanych zakresach. Można dojść do wniosku, że przepływ oczyszczanego ścieku może być na tyle szybki aby wydzielone z roztworu pęcherzyki powietrza nie były porywane strumieniem oczyszczonego ścieku i aby turbulentny już przepływ nie zniszczył konstrukcji piany.

W przypadku badanych ścieków stwierdzono, że przy doborze odpowiednich warunków, szczególnie w zakresie doboru odczynnika, otrzymywano efekt oczyszczania bardzo zbli-

żony, albo wręcz równy, efektowi filtracji skoagulowanego ścieku. Wyniki takie należy uznać za pozytywne, tym bardziej, że osiąga się je przy zastosowaniu prostej metody w urządzeniach o niewielkich gabarytach w stosunku do ilości przerabianych ścieków, przy krótkim czasie jednostkowego procesu.

Nie osiągnięto pozytywnego efektu oczyszczania ścieków z substancji rozpuszczonych w wodzie. Wynikło to najprawdopodobniej stąd, że organiczne substancje nie wykazywały własności powierzchniowo-czynnych, dlatego nie gromadziły się w pianie w procesie separacji pianowej. Usunięcie tych substancji w przypadku złożonych ścieków z Zakładów "Pol-lena" wymagałoby zastosowania oprócz flotacji innej metody oczyszczania np. rozkładu biologicznego.

Metoda ta miałaby na celu usunięcie zaledwie 5-10% organicznych zanieczyszczeń zawartych w ściekach np. "Pol-leny", gdyż ok. 90% substancji organicznych i niemal całkowitą zawiesinę nieorganiczną usuwa się metodą flotacji. W przypadku ścieków rafinerii nafty osiągnięte wyniki uznać należy za całkowicie zadowalające. Flotacja w tym przypadku może być jedyną metodą oczyszczania.