

January BIEŃ, Eugenia KOWALSKA,  
Ewa ZIELEWICZ

ZMIANY WARTOŚCI OPORU WŁAŚCIWEGO FILTRACJI I CZASU SSANIA KAPILARNEGO  
WSTĘPNIE PREPAROWANYCH I NADZWIĘKAWIANYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu fal ultradźwiękowych i polielektrolitów na osady ze ścieków przemysłowych i komunalnych. Stwierdzono pozytywne działanie ultradźwięków na zdolność odwadniania badanych osadów.

Oczyszczanie ścieków metodami konwencjonalnymi wiąże się ściśle z zagadnieniem przerobu znacznych ilości osadów. Osady te charakteryzują się dużym stopniem uwodnienia od 90 do 98%, a sposób przeróbki i likwidacji osadów jest jednym z czynników decydujących o kosztach procesu przeróbki osadów i pochłania od 50 do 80% kosztów całego procesu oczyszczania ścieków [1]. W zasadzie procesy likwidacji osadów poprzedzane są przez wstępne zagęszczanie, a następnie odwadnianie mechaniczne.

Wybór właściwego sposobu odwadniania, obok rozwiązań technologicznych, łączy się również ze stopniem odwadnialności osadów. Przebieg procesu odwadniania zależy nie tylko od rodzaju zastosowanych urządzeń, lecz także od rodzaju powstających osadów [2].

Jednym z bardzo często stosowanych procesów w odwadnianiu osadów jest proces filtracji próżniowej. Jest on znaną od dawna operacją jednostkową stosowaną dla wielu procesów, zwłaszcza procesów chemicznych i stanowi jedną z podstawowych operacji przy obróbce wód obiegowych, ścieków i odpylaniu gazów.

Mimo licznych badań, filtracja zawiesin jest problemem nie rozwiązaniem jednoznacznie, a dane literaturowe wykazują często duże rozbieżności. Z tego względu rozdział zawiesin stwarza w wielu przypadkach trudności i stanowi poważną przeszkodę w procesie technologicznym. Pozornie prosty proces rozdziału uzależniony jest od szeregu makro- i mikroparametrów, charakteryzujących zawiesinę, jak: stężenie i stopień rozdrobnienia fazy stałej; wpływ wywierają również kształt, objętość i porowatość cząstek fazy stałej, lepkość, gęstość, temperatura, a także zjawiska towarzyszące, np. krystalizacja podczas filtrowania, blokowanie przegród, zjawiska elektrokinetyczne występujące na granicy faz w kapilarnym układzie filtracyjnym, struktura osadu i inne. Przebieg filtracji i rozdziału uzależniony jest również od warunków tworzenia się zawiesiny, od czasu i intensywności mieszania, od rodzaju transportu do filtru, od oporu przegrody filtracyjnej,

od różnicy ciśnień i innych czynników. W niektórych przypadkach objętość właściwa tworzącego się osadu jest niewspółmiernie duża w odniesieniu do rzeczywistego stężenia fazy stałej. Dlatego stężenie fazy stałej nie jest równoznaczne z masą czy objętością płacka, poza substancją suchą bowiem występuje jeszcze masa zatrzymanego filtratu.

Czynniki wyżej wymienione dają obraz trudności i tłumaczą brak ujęcia poszczególnych zależności ogólnym prawem, tym bardziej że każda przemysłowa zawiesina stanowi indywidualny układ dyspersyjny o odrębnych właściwościach i odmiannym zachowaniu się podczas filtracji. Wymaga to z kolei badania zdolności sedymentowania oraz filtrowalności danej zawiesiny, a także doboru właściwych parametrów i metod rozdzielania, w zależności od różnych warunków. Do celów praktycznych, dla określenia zespołu trudno wymierzalnych ilościowo mikroparametrów limitujących przebieg procesu filtracji, wprowadzono pojęcie tzw. oporu właściwego filtracji [3]. Opór właściwy filtracji jest jednym z parametrów charakteryzujących zdolność oddawania wody przez osady. Jednak ze względu na czasochłonność procesu, stosuje się również jako wskaźnik odwadnialności osadu czas ssania kapilarnego CSK.

Metoda oznaczania CSK zaproponowana przez Baskerville'a i Gale'a [4,5], polegająca na wykorzystaniu sił ssących bibuły do odciągania filtratu z osadu, jest bardzo szybka i prosta.

Stosowane obecnie metody odwadniania osadów nie zawsze dają dobre efekty. Stąd wciąż trwają poszukiwania nowych metod i czynników, które przyspieszałyby i udoskonalily proces odwadniania osadów ściekowych. Jednym z takich czynników może być nadźwiękawianie osadów ściekowych przy użyciu fal ultradźwiękowych przed procesem mechanicznego odwadniania.

Ultradźwięki wpływają na przebieg szeregu procesów, jak: ekstrakcja, suszenie, krystalizacja, destylacja i filtracja, oczyszczanie powierzchni metali, szkielek i inne. Wskutek nieznaczającego oddziaływania na bakterie można przy pomocy ultradźwięków przeprowadzić sterylizację mleka, wody oraz redukcję bakterii w ściekach i osadach ściekowych [6]. W wielu przypadkach osiągnięto wyniki pozytywne, przynajmniej w skali laboratoryjnej, np. w przypadku koagulacji resztek włókien celulozowych w ściekach z fabryki papieru [7] czy oczyszczania ciekłych paliw od domieszek ciekłych i stałych [8].

Stwierdza się w badaniach, że fale ultradźwiękowe mogą wywoływać procesy o przeciwnym charakterze, jak: dyspercja i koagulacja, polimeryzacja i depolimeryzacja, utlenianie i redukcja, i inne. Dyspergujące i koagulujące działanie fal ultradźwiękowych odgrywa istotną rolę w układach ciekłych, wywołując szereg efektów wtórnych. Efekty koagulującego działania fal ultradźwiękowych uzależnione są między innymi od rozmiarów cząstek nadźwiękawianej zawiesiny i od częstotliwości dźwięku. Dla każdej wielkości zawieszonych cząstek istnieje określony optymalny przedział częstości dźwięku, w którym dochodzi w wyniku zderzeń do koagulacji cząstek. Jako czyn-

nik wpływający na koagulację uważane jest od dawna ciśnienie promieniowania, powodujące tworzenie się stref akumulacyjnych [9].

Początkowo cząstki fazy stałej przemieszczają się między strzałkami i węzłami i oddziałując wzajemnie na siebie gromadzą się, tworząc skupiska o większych rozmiarach. Chaotyczne ruchy tych skupisk powodują przy zderzeniach z drobnymi cząstkami dalsze zwiększenie wymiarów i ciężaru. Inne cząstki o różnych rozmiarach i amplitudach drgań, przemieszczające się z różną szybkością w kierunku stref akumulacyjnych, mogą w wyniku zderzeń ulegać samorzutnej koagulacji. Gromadzenie się cząstek w strefach akumulacyjnych sprzyja koagulacji tych cząstek. Zjawisko koagulacji ultradźwiękowej cząstek tłumaczone jest także zaburzeniami symetrii podwójnej warstwy elektrycznej wokół poruszających się cząstek, w wyniku czego może wytworzyć się moment dipolowy i w konsekwencji oddziaływanie międzymolekularne, powodujące przyciągnięcie i koagulację cząstek.

Efekty dyspergującego działania fal ultradźwiękowych uzależnione są nie tylko od wymienionych już parametrów akustycznych, lecz również od takich własności badanych układów, jak: lepkość cieczy, obecność elektrolitów i polielektrolitów, charakter składników, makrostruktura ośrodka, temperatura itd.

Zależności między oddziaływaniem fali ultradźwiękowej a cechami nadźwiękowanego ośrodka kierują uwagę na strukturę i właściwości substancji składających się na badane osady oraz na oddziaływanie międzymolekularne w tym ośrodku. Ultradźwięki bowiem mogą, jak już zaznaczono wyżej, wpływać na międzycząsteczkowe siły orientacji i dyspersji, mogą powodować destrukcję otoczek hydrotacyjnych, destrukcję asocjatów, mogą zmieniać wartość potencjału elektrokinetycznego, a tym samym wpływać na przebieg zjawisk zachodzących na granicy faz itd. Opierając się na wyżej omawianych możliwościach działania ultradźwięków w przedstawionej pracy podjęto próbę zastosowania, obok chemicznych środków do odwadniania, fal ultradźwiękowych o częstotliwości drgań (20 kHz) jako czynnika intensyfikującego.

#### Część doświadczalna i wyniki badań

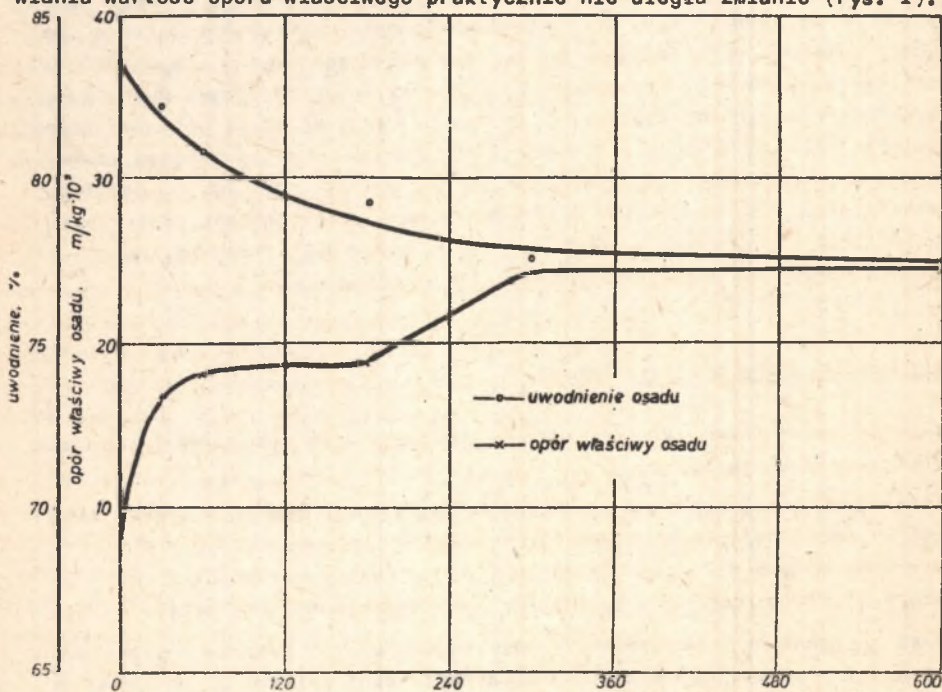
Badania zmian odwadnialności osadu ściekowego przy zastosowaniu fal ultradźwiękowych obejmowały:

- próbę odwadniania osadów surowych i wstępnie preparowanych metodą filtracji próżniowej w skali laboratoryjnej.
- ustalenie wpływu fal ultradźwiękowych na osady poprzez pomiary zmian oporu właściwego, CSK oraz oznaczania końcowego uwodnienia osadu.

W przeprowadzonych badaniach skoncentrowano się na osadzie z przemysłu metalowego, pochodzącego z chemicznej oczyszczalni ścieków galwanizerskich z Kombinatu Techniki Świetlnej "Polam" w Bieleku Białej (określonym jako "mineralny") oraz na osadzie przefermentowanej, pochodzącej z oczyszczal-

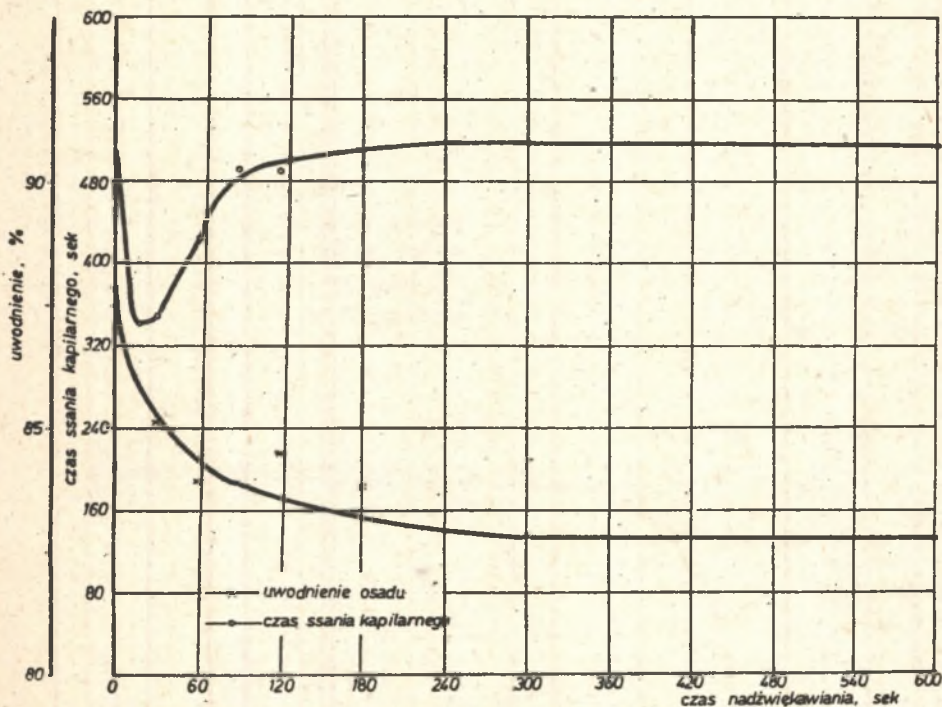
ni ścieków miejskich w Tychach, stosującej mezofilną fermentację metanową (określonym jako osad "organiczny"). Do nadźwiękowania prób stosowano dezintegrator ultradźwiękowy typu UD-11-automatic, produkcji krajowej. Wyznaczenie optymalnych parametrów chemicznego preparowania osadów przed ich odwadnianiem rozpoczęto od ustalenia najkorzystniejszych warunków strącania wapnem oraz wspomagania procesu flokulantami. Podatność osadów na odwadnianie oceniano na podstawie zmian czasu ssania kapilarnego CSK.

W próbach tych stosowano dawki flokulantów do 15 mg/g smo dla osadu mineralnego oraz do 40 mg/g smo dla osadu organicznego. W przypadku osadu mineralnego stwierdzono, że spośród badanych środków chemicznych jedynie Zetag 63 i 92 powodował 2,5-krotne skrócenie CSK, natomiast pozostałe związki chemiczne nie dały praktycznie żadnych efektów. Dla osadu organicznego, natomiast, wszystkie stosowane środki spowodowały skrócenie CSK, przy czym znaczny efekt uzyskano również przy użyciu Zetagu 63 i 92. Próby nad wpływem nadźwiękowania osadu mineralnego niepreparowanego wykazały, że ze wzrostem czasu nadźwiękowania od 0 do 10 minut, uwodnienie końcowe osadu zmalało od 83,55 do 77,45%, przy czym już po 5 minutach nadźwiękowania uzyskano uwodnienie 77,49%. Opór właściwy osadu wzrasta okresowo od  $8,62 \cdot 10^9$  do  $24,19 \cdot 10^9$  m/kg, uzyskując wartość największą po nadźwiękowaniu osadu w ciągu 5 minut. Przy dwukrotnie dłuższym czasie nadźwiękowania wartość oporu właściwego praktycznie nie uległa zmianie (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ czasu nadźwiękowania osadu mineralnego niepreparowanego na stopień jego uwodnienia i opór właściwy

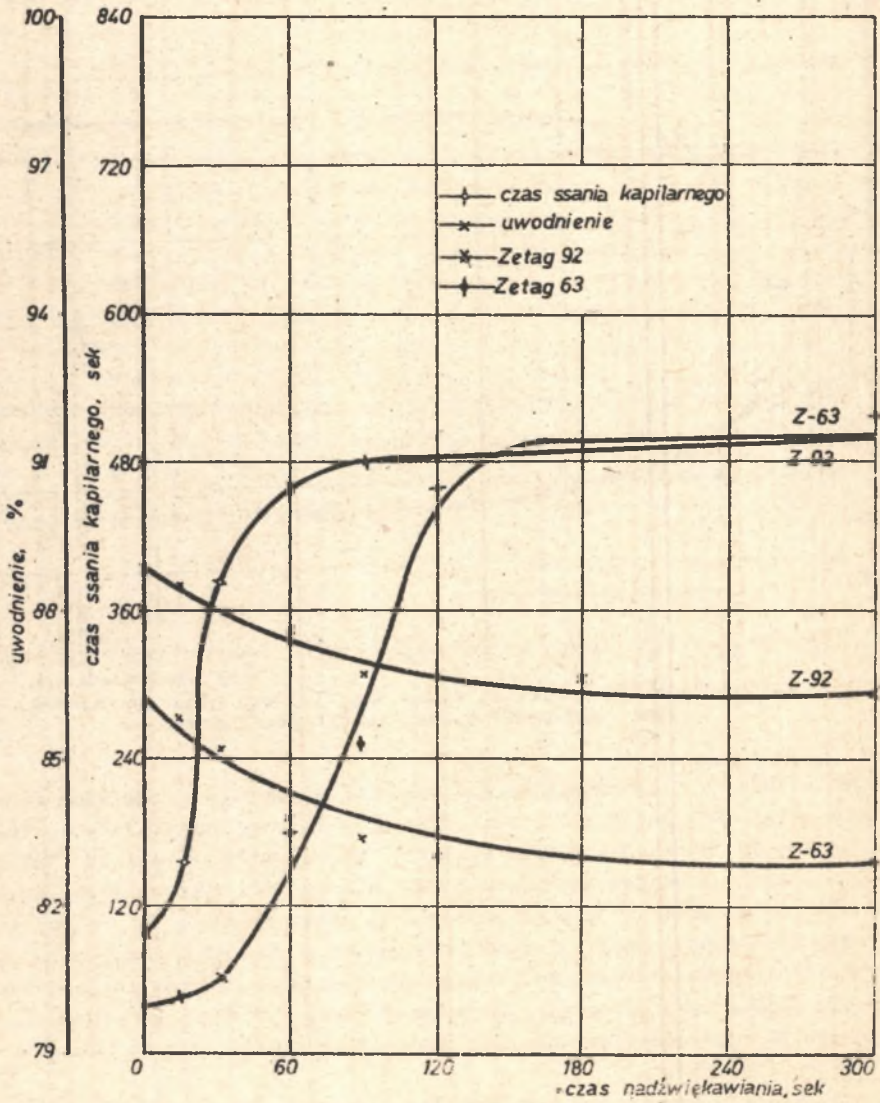
Dla osadu organicznego odwirowywanego na wirówce laboratoryjnej WE-5 w oparciu o pomiary stwierdzono, że ze wzrostem czasu nadźwiękawiania od 0 do 300 sekund uwodnienie osadu zmniejszyło się od 87,85% do 82,71%, zaś czas ssania kapilarnego osiągał wartość minimalną po 15 sekundach nadźwiękawiania. Ilustruje to rys. 2.



Rys. 2. Wpływ czasu nadźwiękawiania osadu organicznego niepreparowanego na jego uwodnienie i czas ssania kapilarnego

Podobne badania przeprowadzono dla osadu organicznego z dodatkiem flokulantów Zetag 63 i Zetag 92, a następnie przy łącznym użyciu flokulantów i ultradźwięków. Otrzymane wyniki wykazały, że bez nadźwiękawiania Zetag 63 obniżał końcowe uwodnienie osadu o 15%, w przypadku zastosowania Zetagu 92 wartość uwodnienia była po odwirowaniu nawet wyższa o 1% w porównaniu z osadem niepreparowanym. Nadźwiękawianie w tych warunkach osadu w ciągu 5 minut spowodowało w obu przypadkach obniżenie końcowego uwodnienia osadu o 5% przy preparowaniu Zetagem 63 oraz o 2,5% przy zastosowaniu Zetagu 92. Jednocześnie wzrastał czas ssania kapilarnego nadźwiękawianych osadów (rys. 3).

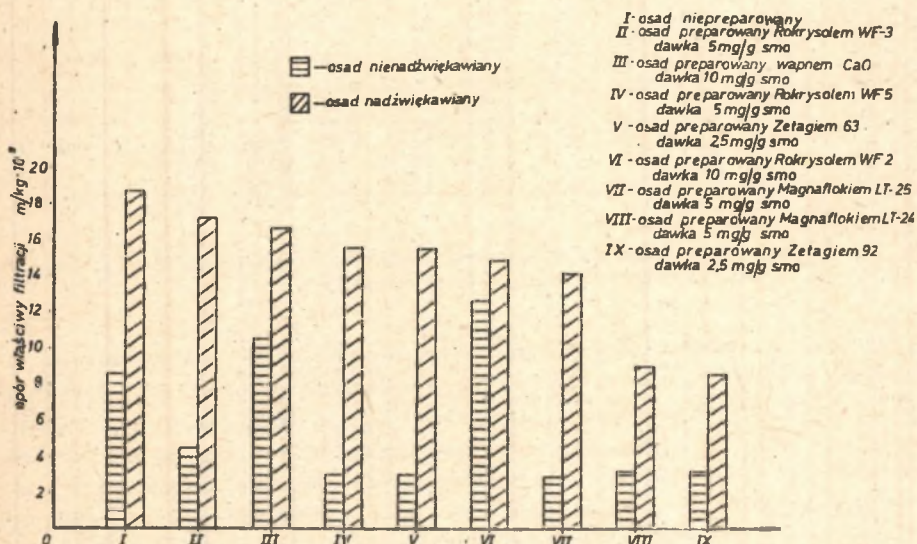
Z rysunku tego wynika, że dla osadu preparowanego Zetagem 63 i 92 jak i dla innych badanych w pracy flokulantów największe zmiany czasu ssania kapilarnego i uwodnienia osadu występują po 2 minutach nadźwiękawiania,



Rys. 3. Wpływ czasu nadźwiękawiania osadu organicznego preparowanego Zeta-giem 63 i 92 na czas ssania kapilarnego i jego uwodnienie

stąd przy dalszych próbach czas ten przyjęto jako optymalny czas nadźwiękawiania.

Obserwacje zmian wartości oporu właściwego i końcowego uwodnienia plačka osadu mineralnego niepreparowanego i preparowanego przy użyciu różnych związków oraz nienadźwiękawianego i nadźwiękawianego w ciągu 2 minut, pozwoliły na stwierdzenie kilku prawidłowości. Zarówno dla osadu niepreparowanego, jak i preparowanego zastosowanymi związkami uzyskiwano po nadźwiękowieniu znaczny wzrost wartości oporu właściwego filtracji. Najniższy wzrost stwierdzono dla osadu preparowanego Rokrysolem WF-2, największy wzrost dla osadu preparowanego przy użyciu Rokrysolu WF-3 oraz Magnaflocu LT-24. Wzrostowi oporu właściwego filtracji towarzyszyło zawsze zmniejszenie uwodnienia końcowego plačka filtracyjnego dla osadu nadźwiękawianego. Spadek końcowego uwodnienia osadu w porównaniu z osadem nienadźwiękawianym i niepreparowanym mieścił się w przedziale od 0,47 do 11,15% w zależności od zastosowanego flokulanta (rys. 5).

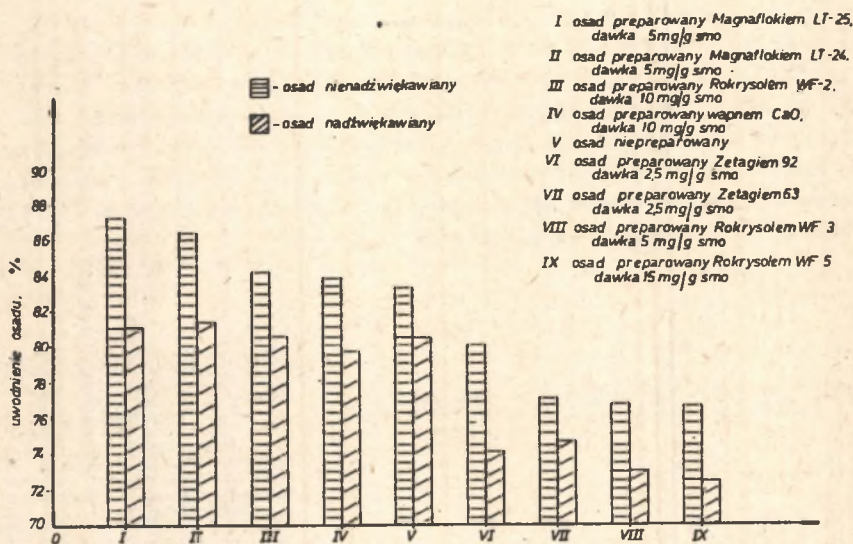


Rys. 4. Zmiany wartości oporu właściwego filtracji osadów preparowanych i niepreparowanych, nienadźwiękawianych i nadźwiękawianych

#### Omówienie wyników

Badane w pracy osady ściekowe stanowiły skomplikowane układy wielokładnikowe, wielofazowe, a ponadto polidispersyjne. Oddziaływanie zarówno środków chemicznych (np. polielektrolitów), jak i fal ultradźwiękowych w ta-

kich ośrodkach jest niezwykle złożone i wielokierunkowe. Interpretacje tych oddziaływań jest skomplikowana a często jest niemożliwa z uwagi na brak jednoznacznych hipotez czy poglądów w odniesieniu do niektórych zjawisk. Na podstawie uzyskanych wyników badań zaobserwowano, że zastosowane polielektrolity wywierają w większości wyraźny wpływ na zmniejszenie wartości oporu właściwego osadu mineralnego (rys. 4).



Rys. 5. Zmiany uwodnienia osadów preparowanych i niepreparowanych, nadźwiękawianych i nienadźwiękawianych

Jak widać na rysunku 4, w przypadku łącznego działania ultradźwięków i flokulantów przedział zmian wartości oporu właściwego osadu jest znacznie większy (niż przy stosowaniu samych tylko polielektrolitów), wynosi  $8,55 \cdot 10^9$  -  $17,2 \cdot 10^9$  m/kg i za wyjątkiem Zetagu 92 przekracza dla pozostałych preparatów wartość oporu właściwego osadu niepreparowanego. Zmiana oporu właściwego osadu przy łącznym stosowaniu ultradźwięków i polielektrolitów wynika zatem z wypadkowego obniżającego działania większości preparatów i stale zwiększającego opór właściwy osadu działania ultradźwięków. Zaobserwowane i przedstawione na rys. 4 zmiany pozwalają na dalsze stwierdzenie, że w przypadku stosowania flokulantów, dla większości preparatów istnieje wprost proporcjonalna zależność między zmianą oporu właściwego osadu a końcowym uwodnieniem placka filtracyjnego. Takie polielektrolity jak Zetag 63, Zetag 92, Rokrysol WF-3, WF-5, wpływając na obniżenie oporu właściwego osadu, poprawiają równocześnie zdolność oddawania wody i powodują zmniejszenie wartości końcowego uwodnienia osadu. Rokrysol WF-2 i



wapno, zwiększając wartość oporu właściwego osadu, pogarszając zdolność odwadniania osadu i uwodnienie końcowe plaacka filtracyjnego jest większe lub prawie równe wartości uwodnienia osadu niepreparowanego. Dla niektórych zastosowanych preparatów (Magnafloc LT-24 i LT-25) obserwuje się natomiast odwrotnie proporcjonalną zależność między zmianami obu rozpatrywanych własności (rys. 4 i 5). Uzyskane wyniki potwierdzają wniosek, że wyłącznie wartość oporu właściwego osadu i jego zmiany nie mogą być miarodajnym wskaźnikiem, charakteryzującym proces filtracji. Zastosowanie ultradźwięków w warunkach prowadzonego procesu, wywołujących w każdym przypadku wzrost oporu właściwego powoduje równocześnie stale spadek uwodnienia plaacka filtracyjnego. Z tego względu dla oceny wpływu fal ultradźwiękowych na efekt odwadniania badanych osadów konieczne jest równoczesne rozpatrywanie oporu właściwego jak i końcowego uwodnienia plaacka filtracyjnego. W badanym zestawie środków i osadów przy równoczesnym stosowaniu ultradźwięków i polielektrolitów, istnieje wyraźnie odwrotnie proporcjonalna zależność między zmianami oporu właściwego osadu, a końcowym uwodnieniem plaacka a mianowicie: przy wzroście oporu właściwego filtracji maleje uwodnienie końcowe osadu.

Łączny efekt wstępnego nadźwiękawiania osadów i ich preparowania wymienionymi związkami jest w każdym badanym przypadku korzystny, co potwierdzają dane zestawiona w tabeli 1.

Tabela 1

Zmiany końcowego uwodnienia osadu mineralnego

Rodzaj preparatu	Wartość obniżenia końcowego uwodnienia w wyniku działania flokulanta	Wartość obniżenia końcowego uwodnienia w wyniku wstępnego nadźwiękawiania	Łączna zmiana obniżenia wartości końcowego uwodnienia w wyniku wstępnego nadźwiękawiania i preparowania
	( $\Delta W_k$ )	( $\Delta W_k$ )	( $\Delta W_k$ )
	%	%	%
Osad niepreparowany	-	3,94	3,94
Rokrysol WF-2	+ 0,55	3,65	3,00
Magnafloc LT-24	+ 2,75	4,95	2,20
Magnafloc LT-25	+ 3,70	6,13	2,43
Wapno CaO	0,47	2,80	3,27
Zetag 92	3,67	5,91	9,48
Zetag 63	6,61	2,56	9,17
Rokrysol WF-3	6,92	3,72	10,64
Rokrysol WF-5	7,04	4,11	11,15

+ - oznacza wzrost wartości uwodnienia końcowego w stosunku do osadu niepreparowanego (dla preparatów pogarszające).

Blizsza analiza wyników prowadzi do stwierdzenia, że na poprawę własności filtracyjnych badanego osadu mineralnego wpływają flokulanty słabo i silnie kationoaktywne, a więc Rokrysol WF-5, Zetag 63 i 92 oraz kationowy Rokrysol WF-3. Zastosowane dla porównania wapno zajmuje położenie prawie środkowe, poprawiając w nieznaczny sposób zdolność odwadniania osadu. Spostrzega się również pewną gradację w oddziaływaniu wymienionych związków, a mianowicie, największe obniżenie wartości uwodnienia końcowego wywołuje silnie kationoaktywny Rokrysol WF-5, w mniejszym stopniu wpływa kationowy Rokrysol WF-3 i jeszcze mniejsze zmiany obserwuje się przy zastosowaniu również kationoaktywnych polielektrolitów Zetag 63 i 92.

Najmniejszą chociaż pozytywną zmianę własności filtracyjnych wywołuje także wapno. Związki słabo i silnie anionoaktywne, a więc Rokrysol WF-2, Magnafloc LT-24 i LT-25 pogarszają, jak już zauważono wyżej, odwadnialność badanego osadu mineralnego.

W odniesieniu do osadu mineralnego potwierdza się również pozytywny wpływ ultradźwięków na własności odwadniania osadów bez względu na rodzaj zastosowanego polielektrolitu. Łączne zaś oddziaływanie ultradźwięków i flokulantów jest w odniesieniu do obu rodzajów osadu (mineralnego i organicznego) wypadkową wpływu ultradźwięków, polepszających odwadnialność osadu i flokulantów słabo zwiększających lub (jak w przypadku Zetagu 92) pogarszających nawet tę odwadnialność.

#### LITERATURA

- [1] Eckenfelder W.W.: Oczyszczanie ścieków. Światowa Organizacja Zdrowia. Projekt FS ONZ-Polska 26, Uniwersytet Teksas - Austin 1967.
- [2] Leszczyński S.: Filtracja w przemyśle. WNT, Warszawa 1972.
- [3] Suwiński M.: Zasady inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1976.
- [4] Baskerville R.C., Gale R.S.: Capillary suction method for determination of the filtration properties of a solid. (lignid suspension) Chemical Ind. 9, 155 (1967).
- [5] Baskerville R.C., Gale R.S.: A simple automatic instrument for determining the filtrability of sewage sludges. Wat. Poll. Control 67, 233 (1968) nr 2.
- [6] Elpiner I.E.: Ultradźwięki - działanie fizykochemiczne i biologiczne. PWN, Warszawa 1968.
- [7] Akustin U.S.: Angew. Chem. 70, 83 (1958).
- [8] Brockelsby F.: I. Sci. Instr. 40, 153, (1963).
- [9] Sołowiewa A.I., Bolszakow A.G., Kortinow A.W.: Kolloid. Z. 20, 249 (1958).

ПЕРЕМЕНА ВЕЛИЧИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ И ВРЕМЕНИ КАПИЛЛЯРНОГО  
ВСАСЫВАНИЯ ПРЕПАРОВАННЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛИ

## Р е з ю м е

В статье показано результаты исследования влияния ультразвуковых волн и полиэлектролитов на осадки промышленных и сельскохозяйственных сточных вод. Убедителны позитивные действия ультразвуков на способность отдавания воды исследованных осадков.

VALUE CHANGES OF SPECIFIC FILTRATION RESISTANCE AND CAPILARY  
SUCTION TIME OF PRELIMINARILY PREPARED AND SOUND AMPLIFIED  
SEWAGE SLUDGES

## S u m m a r y

The paper presents the results of tests concerning the influence of ultrasonic waves and synthetic polymers on industrial and communal sewage sludges.

Positive ultrasonic effect on dewaterability of the tested sewage sludges has been found.