

Mariusz KOWALCZYK, Kamila PARKITNA, Tomasz KAMIZELA

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska  
Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

## Wpływ kondycjonowania osadów ściekowych polem ultradźwiękowym wspomaganym substancjami chemicznymi na efektywność procesu odwadniania

Dokonano analizy efektywności odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej osadów ściekowych mieszanych (komunalno-przemysłowych), kondycjonowanych ultradźwiękami, substancjami chemicznymi (popiół, cement, gips, szkło wodne) oraz metodą łączoną wykorzystującą pole ultradźwiękowe + stosowane komponenty. Celem artykułu było wykazanie, że, wykorzystując energię ultradźwięków i substancje chemiczne, można zmienić właściwości osadów ściekowych poprzez zwiększenie wymiarów i zdolności upakowania cząstek, jednocześnie zwiększyć ilość wody wolnej znajdującej się w osadach, poprawiając tym samym efektywność ich odwadniania. Wzrost skuteczności odwadniania mechanicznego uzyskano przez zastosowanie w preparowaniu osadów metod łączonych, wykorzystujących wstępne nadźwiękawianie i dawkowanie substancji chemicznych. Wywołało to określony skutek w postaci obniżenia uwodnienia końcowego oraz zmiany pozostałych parametrów procesu filtracji ciśnieniowej podczas odwadniania osadów ściekowych w odniesieniu do parametrów osadów niepreparowanych, co wykazały uzyskane i przedstawione w artykule wyniki badań.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, kondycjonowanie, pole ultradźwiękowe, odwadnianie

### Wprowadzenie

Substancje chemiczne, takie jak siarczan glinu, chlorek żelaza(III), siarczan żelaza(II) i polielektrolity, są zazwyczaj dodawane do osadów w celu poprawy ich odwadnialności. Dodanie polielektrolitu do osadów jest obecnie najczęściej używane do obróbki wstępnej osadów przed procesami odwadniania. Ponadto stosowanie polielektrolitów zwiększa koszty i może być również przyczyną wtórnego zanieczyszczenia środowiska. Tak więc proponuje się różne alternatywne metody kondycjonowania osadów ściekowych w celu poprawy efektywności odwadniania, w tym dodatku kwasów i środków powierzchniowo czynnych [1], reakcji Fentona (pogłębione utlenianie) [2, 3], ultradźwięków [4] i ultraszybkiego zamrażania [5]. Wśród tych metod ultradźwięki są uznawane za skuteczny czynnik kondycjonujący do dezintegracji osadów oraz poprawy biodegradacji osadów [6] i są powszechnie uważane za narzędzie, którego zastosowanie powoduje wzrost efektywności mechanicznego odwadniania osadów ściekowych ze względu na znikome oddziaływanie na środowisko [7]. Przeprowadzone badania pokazują, że

kondycjonowanie osadów ściekowych ultradźwiękami może wpływać zarówno pozytywnie, jak i negatywnie na efekt odwadniania osadów [8]. Zastosowanie sonifikacji do przygotowania osadów przed odwadnianiem poprawiło odwadnialność, o czym świadczy spadek czasu ssania kapilarnego (CSK) wraz ze wzrostem dawki energii ultradźwiękowej [4]. CSK spadł od 53 s dla próbki kontrolnej surowej do <math><10</math> s dla osadów sonifikowanych przy udziale energii ultradźwiękowej 2000 kJ/l. Wykazano również, że zastosowanie wstępnej obróbki ultradźwiękowej osadów pochodzących z oczyszczania ścieków petrochemicznych poddanych odwadnianiu w procesie filtracji spowodowało zmniejszenie wilgotności osadów z 99 do 80% [9]. Dodatek flokulantu i przeprowadzenie wstępnego nadźwiękawiania osadów powodowało zmniejszenie oporu właściwego filtracji z 2. Stwierdzono również, że nadźwiękawianie osadów znacznie zwiększa ich podatność na odwadnianie. Efektywność odwadniania jest zróżnicowana i zależy od energii ultradźwięków oraz długości czasu nadźwiękawiania [10]. Dokonany przegląd literaturowy wskazuje na zasadność podjęcia problematyki ultradźwiękowego wspomaganie procesów odwadniania. Należy zwrócić uwagę, że w zależności od charakterystycznych wielkości, jakimi są częstotliwość lub amplituda fali ultradźwiękowej, oraz właściwości osadu osiąga się często różnorodne efekty. Brak systematycznej ciągłości badań wyrażony zmiennością zastosowanych parametrów stanowi barierę w przeniesieniu doświadczeń na skalę techniczną. Podsumowując, przesłanką skłaniającą do podjęcia dalszych badań jest to, że jeszcze w pełni nie wypracowano powszechnie zaakceptowanych wskaźników dla wyboru najlepszych parametrów zastosowanej fali ultradźwiękowej.

## 1. Metodyka badań

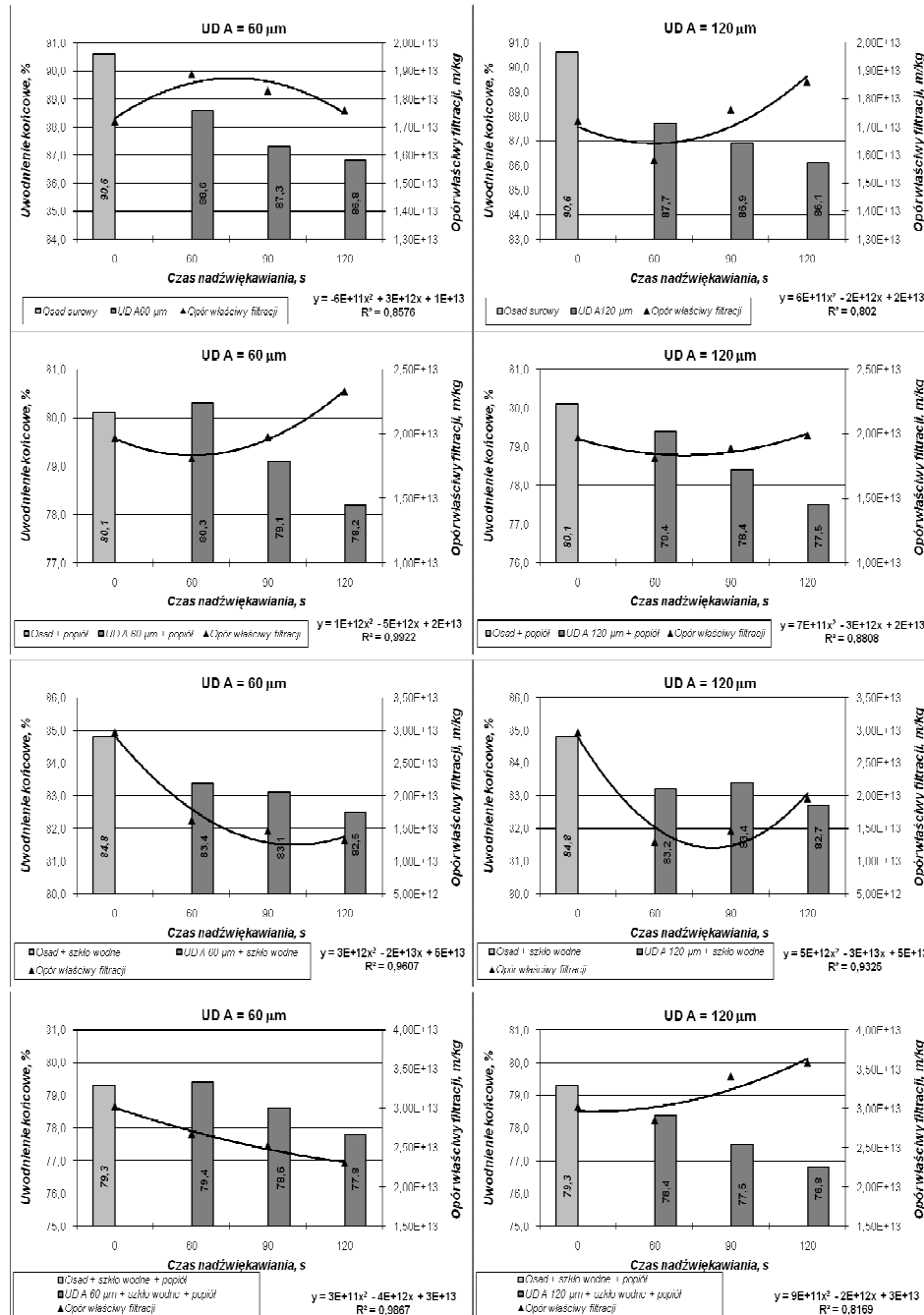
W przeprowadzonych badaniach podjęto próbę wykazania wpływu zastosowania różnych metod preparowania osadów ściekowych na stopień ich odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej. Analizie poddano osady niepreparowane (N), nadźwiękawiane (UD), kondycjonowane szkłem wodnym (sz.w.), nadźwiękawiane i kondycjonowane szkłem wodnym (UD+sz.w.), preparowane samym komponentem (popiół) oraz w połączeniu z wymienionymi wcześniej czynnikami kondycjonującymi. Do badań pobrano próbki wymieszanego osadu, po 100 cm<sup>3</sup> każda. Filtrację ciśnieniową prowadzono na urządzeniu składającym się z filtra ciśnieniowego z ułożoną wewnątrz tkaniną filtracyjną (tkanina bawełniana BT), butli ze sprężonym powietrzem, cylindrów miarowych na przesącz, zaworów odcinających, manometru oraz sekundomierza. Do procesu filtracji użyto sprężonego powietrza o ciśnieniu 0,5 MPa. Do obliczeń wzięto wartość uśrednioną z 5 prób. Jako reagenta chemicznego użyto szkła wodnego w ilości 1 cm<sup>3</sup>/100 cm<sup>3</sup> osadów. Do nadźwiękawiania osadu służył dezintegrator ultradźwiękowy VCX 134 o częstotliwości 40 kHz z możliwością zmiany amplitudy do 123 μm i czasu ekspozycji.

Prowadzono proces o następujących parametrach nadźwiękawiania: amplituda  $A = 60$  i  $120 \mu\text{m}$  i czas nadźwiękawiania  $t = 60, 90$  i  $120$  s. Stosowany komponent to: popiół w ilości  $1 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$  badanego osadu. Badany osad charakteryzował się następującymi parametrami: uwodnienie - 99,0%, sucha masa osadów -  $10 \text{ g}/\text{dm}^3$ , zawartość substancji mineralnych - 34%, organicznych - 66%, pH - 6,8, czas ssania kapilarnego - 230 s.

## 2. Wyniki badań

Przeprowadzone badania były podstawą do poznania zależności między sposobem kondycjonowania osadów ściekowych a otrzymanymi efektami ich odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej. Stwierdzono, że pole ultradźwiękowe jako fizyczna metoda modyfikacji osadów ściekowych kondycjonowanych szkłem wodnym i substancją chemicznie obojętną było czynnikiem intensyfikującym procesy odwadniania, co wykazały uzyskane i przedstawione w rezultacie badań wyniki. Poddawanie działaniu pola ultradźwiękowego osadów, a następnie preparowanie szkłem wodnym i substancją obojętną chemicznie wywołało określony skutek w postaci zmian uwodnienia końcowego w odniesieniu do parametrów osadów niepreparowanych. Nadźwiękawianie osadów i stosowanie krótkich czasów ekspozycji ultradźwięków (60, 90 i 120 s) prowadziło do zaburzeń stanu równowagi układu. Działanie takie wywołuje dyspersję i częściową homogenizację zawiesiny. Najkorzystniejsze rezultaty odwadniania osadów ściekowych kondycjonowanych samym polem ultradźwiękowym w procesie filtracji ciśnieniowej uzyskano, stosując amplitudę  $120 \mu\text{m}$ , czas nadźwiękawiania 120 s (rys. 1), wartość ta wynosiła 86,1%. Lepsze efekty obniżenia uwodnienia końcowego osadów w procesie filtracji ciśnieniowej otrzymano, stosując przy kondycjonowaniu dodatek komponentów (popiół, szkło wodne). Dodając do osadów szkła wodnego, otrzymano uwodnienie końcowe na poziomie 84,8%. Znacznie lepszy efekt odwodnienia osadów uzyskano po dodaniu popiołu, gdzie osiągnięto 19,9% stężenia suchej masy. Kondycjonowanie osadów metodą łączoną, wykorzystujące wstępne nadźwiękawianie i dawkowanie substancji chemicznych prowadziło do ponownego obniżenia uwodnienia końcowego. Najlepsze efekty przy tej metodzie preparowania osadów uzyskano, stosując sonifikację przy amplitudzie  $120 \mu\text{m}$  i czasie 120 s oraz dawkowanie popiołu. Dla tak dobranych warunków kondycjonowania uzyskano uwodnienie końcowe na poziomie 77,5% (rys. 1). Zastąpienie popiołu szkłem wodnym przy tych samych parametrach pola ultradźwiękowego prowadziło do obniżenia uwodnienia końcowego do wartości 82,7%. Najwyższe stężenie suchej masy (23,2%) w osadach odwodnionych osiągnięto przy preparowaniu osadów ściekowych metodą łączoną wykorzystującą wszystkie czynniki kondycjonujące (ultradźwięki + substancje chemiczne (szkło wodne i popiół) - rysunek 1. W większości przypadków wydłużanie czasu ekspozycji w polu ultradźwiękowym powodowało wzrost efektów obniżenia uwodnienia końcowego filtrowanego

osadu. Większe znaczenie jednak miała długość stosowanej amplitudy (czyli wprowadzenie większej energii ultradźwięków do próbki).



rys. 1. Wpływ kondycjonowania metodami łączonymi osadów ściekowych na zmianę uwodnienia końcowego i oporu właściwego filtracji

Na uzyskane wyniki kondycjonowania osadów mogły mieć wpływ zastosowane substancje chemiczne powodujące wzrost porowatości osadów. Utworzenie sztywniejszej struktury osadów zdolnej do utrzymania dużej porowatości pod wpływem wysokiego ciśnienia przyczyniło się do odprowadzenia znacznej ilości wody. W większości rozpatrywanych przypadków zanotowano wzrost oporu filtracji, co nie wpływało niekorzystnie na uzyskane efekty obniżenia uwodnienia końcowego.

Tabela 1

**Zmiana wydajności i prędkości filtracji osadów poddanych kondycjonowaniu różnymi metodami**

Sposób preparowania	Wydajność filtracji kg/m <sup>2</sup> h	Prędkość przy przebicciu cm <sup>3</sup> /s	Sposób preparowania	Wydajność filtracji kg/m <sup>2</sup> h	Prędkość przy przebicciu cm <sup>3</sup> /s
surowy	0,654	0,07	osad + szkło wodne	0,284	0,02
UD A = 60 mm, 60 s	0,910	0,1	UD A = 60 mm, 60 s + szkło wodne	5,228	1,23
UD A = 60 mm, 90 s	0,982	0,11	UD A = 60 mm, 90 s + szkło wodne	1,743	0,96
UD A = 60 mm, 120 s	1,308	0,3	UD A = 60 mm, 120 s + szkło wodne	1,088	0,82
UD A = 120 mm, 60 s	2,881	0,31	UD A = 120 mm, 60 s + szkło wodne	0,923	1,17
UD A = 120 mm, 90 s	2,617	0,3	UD A = 120 mm, 90 s + szkło wodne	0,735	0,85
UD A = 120 mm, 120 s	2,390	0,28	UD A = 120 mm, 120 s + szkło wodne	0,714	0,8
osad + popiół	2,323	0,11	osad + szkło wodne + popiół	0,714	0,03
UD A = 60 mm, 60 s + popiół	1,485	0,09	UD A = 60 mm, 60 s + szkło wodne + popiół	1,017	0,08
UD A = 60 mm, 90 s + popiół	1,395	0,07	UD A = 60 mm, 90 s + szkło wodne + popiół	0,698	0,06
UD A = 60 mm, 120 s + popiół	1,863	0,09	UD A = 60 mm, 120 s + szkło wodne + popiół	1,123	0,1
UD A = 120 mm, 60 s + popiół	1,540	0,09	UD A = 120 mm, 60 s + szkło wodne + popiół	0,518	0,04
UD A = 120 mm, 90 s + popiół	0,789	0,04	UD A = 120 mm, 90 s + szkło wodne + popiół	0,375	0,03
UD A = 120 mm, 120 s + popiół	0,987	0,06	UD A = 120 mm, 120 s + szkło wodne + popiół	0,280	0,02

W każdym przypadku zastosowanie pola ultradźwiękowego, niezależnie od wartości amplitudy i czasu nadźwiękawiania, prowadziło do wzrostu wydajności i prędkości procesu w porównaniu z osadami nienadźwiękawianymi. Zaobserwowano również, że wzrost wydajności następował proporcjonalnie do wzrostu

amplitudy i czasu ekspozycji osadów w polu ultradźwiękowym. Podobna sytuacja miała miejsce przy rozpatrywaniu parametru, jakim była prędkość procesu. Najlepsze wyniki osiągnięto dla amplitudy wynoszącej  $A = 120 \mu\text{m}$  i czasu 60 s (tab. 1). Dla takich wartości wydajność filtracji wynosiła  $2,881 \text{ kg/m}^2\text{h}$ , a prędkość była równa  $0,31 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Dłuższy niż 60 sekund czas nadźwiękawiania osadu przy amplitudzie wynoszącej  $A = 120 \mu\text{m}$  powodował obniżenie wydajności filtracji i prędkości. Były to jednak wyniki znacznie lepsze w porównaniu z otrzymanymi dla amplitudy  $A = 60 \mu\text{m}$ .

Kondycjonowanie osadów ściekowych przy użyciu popiołu wpłynęło korzystnie na zmianę wydajności i prędkości filtracji w porównaniu z tymi parametrami dla osadu surowego. Wydajność filtracji dla osadu kondycjonowanego popiołem wynosi  $2,323 \text{ kg/m}^2\text{h}$ , a prędkość  $0,11 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Zastosowanie pola ultradźwiękowego w połączeniu z popiołem do kondycjonowania osadów ściekowych spowodowało obniżenie tych parametrów w porównaniu z zastosowaniem samego popiołu. Najwyższą wydajność filtracji podczas kondycjonowania ultradźwiękami i popiołem osiągnięto dla amplitudy  $A = 60 \mu\text{m}$  i czasu 120 sekund i wynosiła ona  $1,863 \text{ kg/m}^2\text{h}$ . Zastosowanie amplitudy  $A = 120 \mu\text{m}$ , niezależnie od czasu nadźwiękawiania, spowodowało obniżenie wydajności filtracji w stosunku do amplitudy  $A = 60 \mu\text{m}$ . Najniższą wydajność procesu dało kondycjonowanie z popiołem przy amplitudzie  $A = 120 \mu\text{m}$  w czasie 90 sekund i wynosiła ona  $0,789 \text{ kg/m}^2\text{h}$ .

Użycie szkła wodnego jako substancji kondycjonującej osady ściekowe wpłynęło na obniżenie wydajności filtracji. Wynosiła ona  $0,284 \text{ kg/m}^2\text{h}$ . Dało to wynik mniejszy o  $0,37 \text{ kg/m}^2\text{h}$  w porównaniu z osadem surowym, a także niższy w porównaniu z osadem preparowanym popiołem. Prędkość filtracji również w tym przypadku osiągnęła najniższą wartość wynoszącą  $0,02 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Duży wpływ na poprawę wydajności procesu miało zastosowanie wstępnego nadźwiękawiania, a następnie dawkowania szkła wodnego. Zarówno zastosowanie amplitudy  $A = 60$ , jak i  $120 \mu\text{m}$  wpłynęło na zwiększenie wydajności filtracji. Najlepszą wydajność osiągnięto po nadźwiękawianiu przy niższej amplitudzie i w najkrótszym czasie ( $5,228 \text{ kg/m}^2\text{h}$ ), najniższą natomiast dla wyższej amplitudy i najdłuższego czasu kondycjonowania ( $0,714 \text{ kg/m}^2\text{h}$ ). Zastosowanie metody łączonej ultradźwięków ze szkłem wodnym i popiołem spowodowało zmianę wartości wydajności filtracji. W zależności od czasu nadźwiękawiania otrzymano wartości zarówno wyższe, jak i niższe. W przypadku amplitudy  $A = 60 \mu\text{m}$  najwyższą wydajność filtracji uzyskano dla czasu wynoszącego 120 sekund, a wynosiła ona  $1,123 \text{ kg/m}^2\text{h}$ . Najniższą natomiast po czasie 90 sekund. Wydajność procesu dla osadów kondycjonowanych ultradźwiękami o wyższej amplitudzie malała wraz z wydłużeniem czasu nadźwiękawiania, a najniższą wartość uzyskała po czasie 120 sekund i wynosiła ona zaledwie  $0,280 \text{ kg/m}^2\text{h}$ .

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i po analizie uzyskanych wyników można stwierdzić, że kondycjonowanie polem ultradźwiękowym, substancjami obojętnymi chemicznie, a także metodami łączonymi wpływa na zwiększenie

skuteczności odwadniania osadów ściekowych w procesie filtracji ciśnieniowej. Dawkowanie szkła wodnego do osadów ściekowych wpływa korzystnie na wynik uwodnienia końcowego otrzymanego po odwodnieniu osadów w tym procesie. Zmiana parametrów odwadniania podczas filtracji ciśnieniowej, w wyniku kondycjonowania wymienionymi sposobami, umożliwia przedstawienie następujących wniosków:

1. Kondycjonowanie osadów ściekowych samym polem ultradźwiękowym wpływa na zmianę uwodnienia końcowego. Najlepszy efekt osiągnięto po nadźwiękawianiu amplitudą  $A = 120 \mu\text{m}$  po czasie 120 sekund. Dało to wartość o 4,5% niższą w porównaniu z osadem surowym. Zarówno dla amplitudy  $A = 60$ , jak i  $120 \mu\text{m}$  wartości uwodnienia końcowego obniżały się proporcjonalnie do czasu ekspozycji.
2. Zastosowanie substancji obojętnej chemicznie w znacznym stopniu wpływa na obniżenie uwodnienia końcowego osadów ściekowych. Najskuteczniejszą substancją okazał się popiół (osiągnięto redukcję uwodnienia końcowego o 10,5% w stosunku do osadu surowego).
3. Metody łączone wykorzystujące wstępne nadźwiękawianie i dawkowanie substancji chemicznych, zarówno dla amplitudy  $A = 60$ , jak i  $120 \mu\text{m}$ , wpływały w największym stopniu na poprawę zdolności osadów do odwadniania. Najbardziej efektywny w połączeniu z polem ultradźwiękowym okazał się popiół. Dla amplitudy  $A = 120 \mu\text{m}$  po czasie 120 sekund osiągnięto najniższe uwodnienie końcowe wynoszące 77,5%. Była to wartość niższa o 13,1% w stosunku do uwodnienia końcowego osadów surowych.
4. Dawkowanie szkła wodnego do osadów kondycjonowanych polem ultradźwiękowym czy substancjami chemicznymi wpływa na zmniejszenie uwodnienia końcowego osadów w stosunku do osadów surowych. Zastosowanie szkła wodnego do osadów surowych spowodowało redukcję uwodnienia końcowego o 5,8% w stosunku do osadów niepreparowanych.

## Podziękowanie

*Praca naukowa finansowana ze środków BG 401/407/10.*

## Literatura

- [1] Chen L.C., Chian C.Y., Yen P.S., Chu C.P., Lee D.J., High-speed sludge freezing, *Wat. Res.* 2001, 35, 14, 3502-3507.
- [2] Lu M.C., Lin C.J., Liao C.H., Huang R.Y., Ting W.P., Dewatering of activated sludge by Fenton's reagent, *Adv. Environ. Res.* 2003, 7, 667-670.
- [3] Chang G.R., Liu J.C., Lee D.J., Co-conditioning and dewatering of chemical sludge and waste activated sludge, *Water Res.* 2001, 35, 786-794.
- [4] Na S., Kim Y-U., Khim J., Physiochemical properties of digested sludge with ultrasonic treatment, *Ultrasonic Sonochemistry* 2007, 14, 281-285.

- [5] Parker P.J., Collins A.G., Ultra-rapid freezing of water treatment residuals, *Water Res.* 1999, 33, 2239-2246.
- [6] Tiehm A., Nickel K., Zellhorn M., Neis U., Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization, *Water Res.* 2001, 35, 2003-2009.
- [7] Bougrier C., Albasi C., Delgenes J.P., Carrere H., Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, *Chem. Eng. Process.* 2006, 45, 711-718.
- [8] Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T., Wpływ parametrów warstwy filtracyjnej oraz sposobu preparowania osadów ściekowych na efekty ich odwadniania, *Gospodarka Opadami Komunalnymi, Komitet Chemii Analitycznej PAN, Tom V, Koszalin 2009.*
- [9] Yin X., Lu X.P., Han P.F., Wang Y.R., Ultrasonic treatment on activated sewage sludge from petro-plant for reduction, *Ultrasonic Sonochemistry* 2006, 44, 397-399.
- [10] Kim Y.U., Kim B.I., Effect of ultrasound on dewaterability of sewage sludge, *Jpn. J. Appl. Phys.* 2003, 1, 42, 5898-5899.

### **Effect of Sludge Conditioning with Ultrasonic Field Assisted Chemical Substances on the Effectiveness of Dewatering**

In the article examines the effectiveness of drainage in the process of pressure filtration of mixed sludge (municipal - industrial), conditioned ultrasonic, chemical (ash, cement, gypsum, water glass) and a combined method using ultrasonic field + used components. The aim of this study was to demonstrate that by using ultrasonic energy and chemicals can change the properties of sewage sludge by increasing the size particle density and capacity, while increasing the amount of free water contained in the sludge thereby improving the efficiency of their drainage. Increase the efficiency of sludge mechanical dewatering was obtained by applying combined methods with usage initial sonication and dosage of chemicals. This caused a effect of the final hydration reduction and changes in other parameters of the filtration pressure during dewatering of sewage sludge in relation to the parameters of sludge not having, as shown by the obtained and presented in this paper test results.

**Keywords:** sewage sludge, conditioning, ultrasonic field, dewatering