

## Możliwość zastosowania pola magnetycznego do kondycjonowania osadów ściekowych

Kamila Hrut<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa, e-mail: kamila.hrut@is.pcz.pl

### STRESZCZENIE

Celem pracy było określenie możliwości zastosowania pola magnetycznego do kondycjonowania osadów preparowanych dualną metodą chemiczną z zastosowaniem koagulanta żelazowego PIX 113, oraz 2 rodzajów organicznych polielektrolitów: Superfloc C-494, oraz Superfloc C-496. W celu dokonania oceny wpływu parametrów procesowych (prędkość i kierunek przepływu osadów przez cewkę) badania prowadzono w kilku kombinacjach badawczych różniących się sposobem preparowania osadów, oraz kierunkiem i prędkością przepływu przez solenoid. Analizy podzielono na 2 etapy, różniące się zastosowanym polielektrolitem. Do określenia zmian podatności na odwadnianie posłużono się testem czasu ssania kapilarnego, oraz oporem właściwym filtracji i uwodnieniem końcowym osadów. Oceny jakości cieczy osadowych dokonano na podstawie wartości chemicznego zapotrzebowania na tlen. Najkorzystniejsze efekty oddziaływania pola magnetycznego osiągnięto stosując polimer Superfloc C-494, oraz przepływ przez solenoid w kierunku S-N z prędkością 1.0 l/min. Uzyskane rezultaty świadczą jednak o tym, że wpływ pola magnetycznego na podatność na odwadnianie badanych osadów jest zmienny, zależny zarówno od kierunku i prędkości przepływu osadów, jak również od rodzaju środka kondycjonującego. Aby móc jednoznacznie określić możliwość zastosowania pola magnetycznego do kondycjonowania osadów ściekowych, niezbędne są dalsze badania.

**Słowa kluczowe:** komunalne osady ściekowe, kondycjonowanie, pole magnetyczne, koagulant, dualna metoda chemiczna

## The possibility of using a magnetic field for the conditioning of sewage sludge

### ABSTRACT

The purpose of the work was to determine the applicability of the magnetic field for the conditioning of the sewage sludge prepared by the dual chemical method with using PIX 113 iron coagulate, and 2 types of organic polyelectrolytes: Superfloc C-494, and Superfloc C-496. In order to assess the impact of process parameters (flow rate and flow direction through the coil), tests were conducted in several research combinations differing in the method of preparation of sludge, the flow direction and flow rate through the solenoid. The analyses were divided into two stages, differing in the applied polyelectrolyte. In order to determine the changes of susceptibility to dewatering, the capillary suction time test, specific resistance to filtration and the final hydrating of the filter cake were used. The assessment of the quality of the leachates was made on the basis of the chemical oxygen demand values. The most beneficial effects of the magnetic field effect were achieved for the combination with the Superfloc C-494 polymer, and flow through the solenoid towards S-N at rate 1.0 L/min. The results shows that the influence of the magnetic field on the susceptibility to dewatering of the sludge is variable, dependent on the flow direction and flow rate of sludge through the coil, as well as on the type of conditioning agent. In order to be able to unequivocally determine the possibility of using a magnetic field for the conditioning of sewage sludge, further research is necessary.

**Keywords:** dual chemical method, municipal sewage sludge, magnetic field, conditioning, coagulant

## WPROWADZENIE

Osady ściekowe – stała mineralno-organiczna faza ścieków, oddzielona od fazy płynnej najczęściej w procesie sedymentacji, są nieodłącznym elementem procesu oczyszczania ścieków. W roku 2015 oczyszczalnie ścieków w Polsce wytworzyły 568 tys. ton suchej masy osadów [GUS 2016]. Skład osadów ściekowych jest zmienny, silnie zależny od składu ścieków dopływających do oczyszczalni. Jednak wszystkie osady charakteryzują się dużą powierzchnią właściwą, istnieniem sił elektrycznych oraz molekularnych, nieuporządkowaną, nietrwałą i luźną morfologią kłaczków. Osady ściekowe charakteryzują się także wysokim uwodnieniem sięgającym 99%, które determinuje znaczną ich objętość, dlatego kluczowymi procesami przeróbki są zagęszczanie i odwadnianie [Wolny 2005, Bień i Wystalska 2011]. Skład i właściwości osadów bardzo często utrudniają oddawanie wody, w związku z czym przed procesami przeróbki niezbędne jest ich kondycjonowanie – szereg metod fizycznych, chemicznych, biologicznych i ich kombinacji, których celem jest zmiana właściwości osadów w taki sposób, by polepszyła się ich zdolność do oddawania wody [Kamizela i Ciborowski 2013]. Obecnie najczęściej stosuje się metody chemiczne, wśród których na uwagę zasługuje znajdująca się w fazie aplikacyjno – testowej metoda dualna. Polega ona na sekwencyjnym dozowaniu koagulanta mineralnego i organicznego polielektrolitu. Zadaniem koagulanta jest neutralizacja ładunku powierzchniowego cząstek, polimer z kolei pełni funkcję czynnika sieciującego, ułatwiającego transport i aglomerację cząstek. Dualne kondycjonowanie osadów ściekowych jest metodą efektywną, jednak istnieje szereg ograniczeń: niestabilna efektywność, wysokie koszty stosowania, czy silna zależność od czynników takich jak charakterystyka osadu i warunki flokulacji [Hrut i Kamizela 2015].

Obecnie największy nacisk kładzie się na kombinowane metody kondycjonowania, będące połączeniem dwóch lub więcej dotychczas znanych czynników kondycjonujących.

Pole magnetyczne jest wykorzystywane w wielu dziedzinach nauki, w tym w inżynierii środowiska. Może być stosowane do poprawy funkcjonowania procesów uzdatniania wody i oczyszczania ścieków [Podsiadło i Leśniak 2009]. Jak podaje KołECKA [2005] pole magnetyczne ma wpływ na:

- zwiększenie intensywności rozkładu wielu związków,
- intensyfikację procesu rozpuszczania i koagulacji zawiesin,
- przyspieszenie procesu utleniania i redukcji,
- zwiększenie adsorpcji na powierzchni rozdziału faz,
- zwiększenie trwałości i spójności części stałych w osadach,
- ograniczenie liczebności mikroorganizmów takich jak bakterie typu coli i glony.

Według licznych badań zmian właściwości wody i roztworów wodnych spowodowanych działaniem pola magnetycznego, zmiany te zależne są od czynników takich jak [Alimi i in. 2009, Hołysz i in. 2003, Szcześ i in. 2011, 2012]:

- siła i kierunek przyłożonego pola,
- czas ekspozycji medium na działanie pola,
- szybkość przepływu wody lub roztworu wodnego,
- krotność przepływu,
- zanieczyszczenia obecne w badanym medium,
- odczyn pH roztworu.

Istnieje wiele sprzecznych doniesień i kontrowersji na temat wpływu pola magnetycznego na wodę i roztwory wodne, oraz mechanizmów jego oddziaływania. W tym zakresie prowadzone są dalsze badania [Szatyłowicz i Skoczko 2015].

W niniejszej pracy przedstawiono możliwość zastosowania pola magnetycznego, jako czynnika wspomagającego dualną chemiczną metodę kondycjonowania prefermentowanych osadów ściekowych. Zbadano wpływ kierunku, oraz prędkości przepływu osadów przez cewkę, oraz rodzaju aplikowanego polimeru organicznego na parametry określające podatność na odwadnianie, oraz jakość cieczy osadowych.

## MATARIAŁ I METODYKA

Przedmiot badań stanowiły prefermentowane osady ściekowe pochodzące z oczyszczalni ścieków na Śląsku. Jest to oczyszczalnia, do której dopływają ścieki bytowo – gospodarcze i przemysłowe, o średniej przepustowości 45 tys. m<sup>3</sup>/d. W tabeli 1 zestawiono podstawowe właściwości fizykochemiczne badanych osadów.

Podczas badań wykonano następujące oznaczenia analityczne:

- oznaczanie strat przy prażeniu suchej masy osadu według PN-EN 12879:2004,

**Tabela 1.** Właściwości badanych osadów  
**Table 1.** The properties of the investigated sludge

Parametr	min.	max.	$\bar{x}$	$\sigma$
Sucha masa, g/dm <sup>3</sup>	18,5	20,6	19,3	1,3
Sucha masa organiczna, % s.m.	34,6	52,1	43,4	8,7
Uwodnienie, %	98,1	99,43	98,9	0,52
Ph	7,08	7,84	-	-
Zasadowość, mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	1738	2673	2259	536

min. – wartość minimalna, max. – wartość maksymalna,  $\bar{x}$  – średnia arytmetyczna,  $\sigma$  – odchylenie standardowe

- oznaczanie suchej pozostałości i zawartości wody według PN-EN 12880:2004,
- oznaczenie pH i zasadowości według PN-91/C-04540.05,
- oznaczenie czasu ssania kapilarnego (CST) według PN-EN 14701-1:2007,
- oznaczanie oporu właściwego filtracji według PN EN 14701-2: 2013-07.

W celu oznaczenia wartości chemicznego zapotrzebowania na tlen próbki osadów wirowano (3 minuty, 3500 rcf). Tak otrzymane ociecze były następnie homogenizowane przez 60 s. Oznaczenia wykonano metodą spektrofotometryczną przy użyciu spektrofotometru Hach Lange DR 5000.

W celu kondycjonowania osadów wykorzystano koagulant mineralny PIX 113, które-

go głównym składnikiem jest siarczan III żelaza; o całkowitej zawartości żelaza ogólnego 11,8±0,4%. Zastosowano 2 rodzaje polielektrolitów, słabo-kationowy polielektrolit Superfloc® C-494, oraz średnio-kationowy polielektrolit Superfloc® C – 496. Flokulanty dozowano w formie roztworów o stężeniu 0,1%. W tabeli 2 zestawiono dawki stosowanych reagentów.

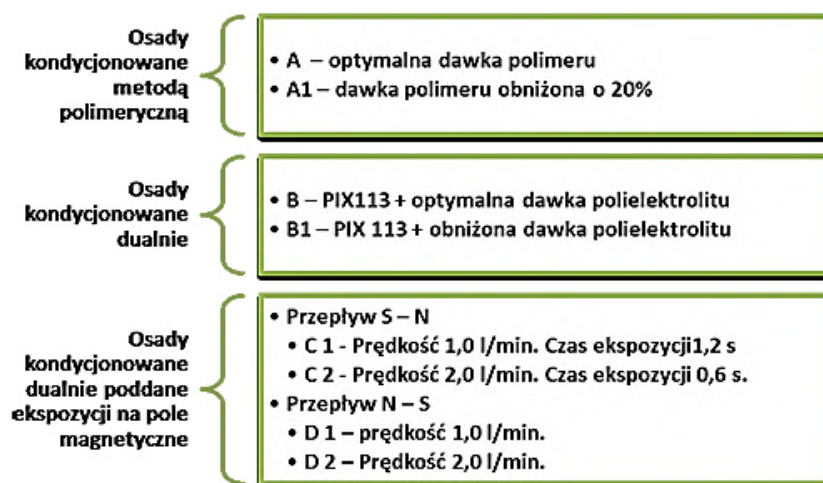
Koagulant dozowany był w stałej dawce objętościowej wynoszącej 4 ml/dm<sup>3</sup>, doboru dawki optymalnej polielektrolitu dokonywano każdorazowo przy pomocy testu CSK.

Badania prowadzono w kilku kombinacjach badawczych, różniących się sposobem preparowania osadów, dawką polielektrolitu, oraz kierunkiem i prędkością przepływu osadów przez pole magnetyczne (rys. 1).

**Tabela 2.** Dawki środków kondycjonujących  
**Table 2.** Doses of the conditioning agents

Środek kondycjonujący	min	max	$\bar{x}$	$\sigma$
PIX 113, kg/kg s.m.	0,27	0,34	0,31	0,05
Superfloc C – 494, g/kg s.m.	2,5	3,98	3,15	0,76
Superfloc C – 496, g/kg s.m.	4,23	5,86	5,35	0,88

min. – wartość minimalna, max. – wartość maksymalna,  $\bar{x}$  – średnia arytmetyczna,  $\sigma$  – odchylenie standardowe



**Rys. 1.** Kombinacje badawcze  
**Fig. 1.** The research combinations

Badania prowadzone były w dwóch etapach. W pierwszym dawkowano polielektrolit Superfloc C – 494, w etapie drugim z kolei użyto Superfloc C – 496.

Stanowisko badawcze do kondycjonowania osadów w polu magnetycznym składało się ze zbiornika, z którego za pomocą pompy perystaltycznej osady tłoczone były przez cewkę do zbiornik końcowego. Wartość indukcji magnetycznej solenoidu wynosiła  $3.5 \cdot 10^{-2}$  T.

## WYNIKI BADAŃ

W pierwszej kolejności dokonano oceny podatności na odwadnianie badanych próbek osadów, której miarą był test czasu ssania kapilarnego, oraz filtracja podciśnieniowa. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że osady kondycjonowane dualnie (kombinacje B, B1) charakteryzują się lepszą podatnością na odwadnianie, w porównaniu z osadami preparowanymi konwencjonalną metodą polimeryczną. Dobór odpowiedniego środka kondycjonującego odgrywa istotną rolę w procesie kondycjonowania, zwłaszcza w przypadku oporu właściwego filtracji. Lepsze rezultaty osiągnięto aplikując polielektrolit C – 494 (etap 1). Dla osadów kondycjonowanych hybrydowo z zastosowaniem optymalnej dawki polimeru (kombinacja B) odnotowano aż 57% różnicę w wartości  $r$ , w zależności od zastosowanego polielektrolitu. W przypadku czasu ssania kapilarnego, różnica była mniej istotna i wynosiła 18%.

Wpływ pola magnetycznego na dualnie kondycjonowane osady był zmienny, zależny od prędkości i kierunku przepływu oraz zastosowanego polielektrolitu. Najkorzystniejsze efekty odnotowano dla osadów kondycjonowanych polielektrolitem C – 494 (etap 1), które przepływały przez solenoid w kierunku S – N z prędkością  $1,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Wartości czasu ssania kapilarnego, oporu właściwego filtracji oraz uwodnienia końcowego dla tej kombinacji były odpowiednio o 31 i 25% i 2% niższe niż w kombinacji B1. Zauważono, że w przypadku użycia polimeru C – 496 (etap 2) nie było możliwe jednoznaczne określenie najkorzystniejszych parametrów przepływu osadów przez pole magnetyczne.

Dokonano także oceny jakości cieczy osadowych wyrażonej wskaźnikiem chemicznego zapotrzebowania na tlen. Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 2). Mniejsze wartości ChZT oznaczają mniejszy ładunek zanieczyszczeń zwracanych do części biologicznej i tym samym mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia problemów eksploatacyjnych.

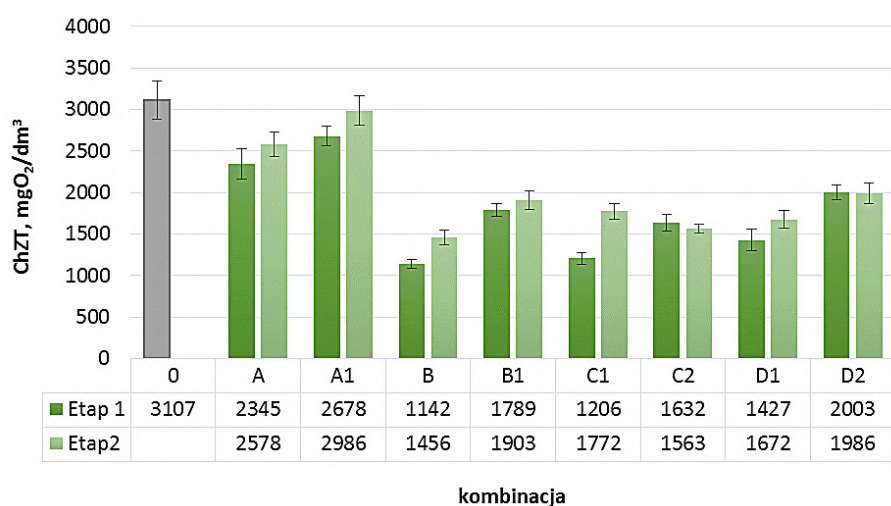
Wartości ChZT w odciekach z osadów kondycjonowanych dualnie były znacznie niższe, niż w cieczach generowanych przez osady preparowane wyłącznie polielektrolitem. Różnice w wartościach wynosiły odpowiednio 52% i 43% dla osadów kondycjonowanych polimerem C – 494 i C – 496. Wpływ pola magnetycznego na jakość odcieków jest zmienny, zależny od rodzaju zastosowanego polielektrolitu, oraz kierunku i prędkości przepływu. Najkorzystniejszy efekt w postaci wartości najbardziej zbliżonej do kombinacji B osiągnięto dla osadów kondycjonowanych polimerem C – 494, w kombinacji C1.

**Tabela 3.** Wyniki testów podatności na odwadnianie dla poszczególnych kombinacji

**Table 3.** The results of the dewaterability tests for the individual combinations

Kombinacja	CSK, s		$r$ , $\text{m/kg} \cdot 10^{11}$		$U_k$ , %	
	Etap 1	Etap 2	Etap 1	Etap 2	Etap 1	Etap 2
0	1638 ± 286		83 ± 16		96,8 ± 0,8	
A	76 ± 8	93 ± 11	15 ± 4	17 ± 6	89,7 ± 0,6	92,1 ± 1,0
A1	180 ± 26	201 ± 36	37 ± 9	42 ± 8	94,6 ± 1,5	96,3 ± 0,7
B	35 ± 4	48 ± 3	0,9 ± 0,2	2,1 ± 0,4	85,4 ± 0,3	86,5 ± 1,2
B1	69 ± 6	83 ± 9	2,6 ± 0,7	4,3 ± 1,2	88,0 ± 0,4	87,6 ± 0,5
C1	48 ± 3	60 ± 5	1,2 ± 0,3	4,1 ± 0,6	86,5 ± 0,6	87,4 ± 0,8
C2	77 ± 9	51 ± 3	2,9 ± 0,9	3,4 ± 0,5	88,6 ± 1,0	89,1 ± 1,3
D1	93 ± 12	62 ± 4	5,5 ± 1,5	2,8 ± 0,9	89,3 ± 0,8	91,7 ± 1,2
D2	107 ± 15	67 ± 8	5,8 ± 1,2	9,6 ± 2,7	91,6 ± 1,3	90,4 ± 0,6

CSK – czas ssania kapilarnego,  $r$  – opór właściwy filtracji,  $U_k$  – uwodnienie końcowe placcka filtracyjnego



**Rys. 2.** Wartości ChZT odcieków z badanych osadów  
**Fig. 2.** COD values of leachate from the investigated sludge

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że osady ściekowe kondycjonowane dualnie charakteryzują się lepszą podatnością na odwadnianie w porównaniu z osadami preparowanymi metodą polimeryczną. Generują one również odcieki o mniejszych wartościach ChZT. Rodzaj stosowanego polielektrolitu ma istotny wpływ na badane właściwości osadów, w związku z czym dobór odpowiednich środków kondycjonujących odgrywa ważną rolę w procesie dualnego kondycjonowania.

Poddając osady ekspozycji na działanie pola magnetycznego zauważono, że jego wpływ zarówno na zmiany podatności na odwadnianie, jak i jakość odcieków jest zmienny. Zależy od rodzaju zastosowanego polielektrolitu, oraz parametrów przepływu osadów przez cewkę. Najbardziej zadowalające rezultaty zaobserwowano poddając osady preparowane dualnie z zastosowaniem polimeru C – 494 ekspozycji na pole magnetyczne przy przepływie 1,0 dm<sup>3</sup>/min w kierunku S – N. Aby jednoznacznie potwierdzić możliwość zastosowania pola magnetycznego do kondycjonowania osadów ściekowych należy wykonać dodatkowe badania w postaci ściśliwości, właściwości reologicznych, a także rozszerzyć analizę jakości cieczy osadowych. Istnieją również przesłanki mówiące o tym, że zastosowanie solenoidu i wyższej wartości indukcji magnetycznej pozwoli otrzymać lepsze efekty.

## Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na badania statutowe BS/MN–401–303//17.

## BIBLIOGRAFIA

- Alimi, F., Tlili, M. M., Amor, M. B., Maurin, G., Gabrielli C. 2009. Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 1327-1332.
- Bień J, Wystalska K. 2011 *Osady ściekowe – teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- GUS, 2016
- Hołyśz, L., Chibowski, E., Szcześ, A. 2003. Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate. *Water Research*, 37(14), 3351-3360.
- Hrut K., Kamizela T. 2015. Wpływ warunków flokulacji na podatność na odwadnianie osadów kondycjonowanych dualną metodą chemiczną. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego. Inżynieria Środowiska (157)* 37, 61-58
- Kamizela T., Cibrowski M. 2013. Kondycjonowanie osadów ściekowych - Kombinacja koagulantów. *Przegląd Komunalny*, 8, 40-42.
- Kołecka K. 2005. Wpływ magnetyzerów na właściwości wody oraz możliwości ich zastosowania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2, 17-20.
- Podsiadło C., Leśniak E. 2009. Wpływ wody uzdatnionej magnetycznie na kiełkowanie i początkowy wzrost wybranych gatunków roślin, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 213-221.

9. Szatyłowicz E., Skoczko I. 2015. Możliwości wykorzystania pola magnetycznego w inżynierii środowiska. *Inżynieria Środowiska – Młodym Okiem*, 13, 333-355.
10. Szczeń A., Chibowski E., Hołysz L. 2012. Wpływ pola magnetycznego na wodę i roztwory wodne. *LAB Laboratoria Aparatura Badania*, 1, 32-34.
11. Szczeń A., Chibowski E., Hołysz L., Rafalski P. 2011. Effects of static magnetic field on water at kinetic condition. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(1), 124-127.
12. Wolny L. 2005. Ultradźwiękowe wspomaganie procesu przygotowania osadów ściekowych do odwadniania. *Seria Monografie nr 104*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej.