

## Elżbieta SPERCZYŃSKA

Politechnika Częstochowska, Katedra Chemii, Technologii Wody i Ścieków  
ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa  
e-mail: [sperczyńska@is.pcz.czest.pl](mailto:sperczyńska@is.pcz.czest.pl)

# Wykorzystanie zeolitu do usuwania jonów azotu amonowego z cieczy osadowej

## Use of Zeolite for Removal of Ammonium Nitrogen from Reject Water

Research work on the possibilities of adsorption/ion exchange processes use for ammonium nitrogen removal from reject water was performed. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of ammonium nitrogen removal from reject water separated after methane digestion. Zeolites were used for ammonium nitrogen removal. Reject water was taken from municipal wastewater treatment plant of PE over 100 000. They were sampled after mechanical dewatering of digested sewage sludge. High concentrations of biogens were stated in the reject water: nitrogen concentration was equal to  $893.4 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{dm}^3$ , whereas phosphorus was equal to  $40.8 \text{ mg P-PO}_4^{3-}/\text{dm}^3$ . COD value was  $276 \text{ g O}_2/\text{dm}^3$ . Reject water had brown colour and alkaline pH ( $\text{pH} = 7.92$ ). Turbidity of reject water was equal to 94.1 NTU. Removal of ammonium nitrogen was performed on zeolite bed of 50 cm high and with diameter of 3.4 cm. At first model reject water was introduced into the bed. Concentration of ammonium nitrogen in model reject water was equal to  $100 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{dm}^3$  (filtration velocity 5.0 m/h). Removal efficiency of ammonium nitrogen was in the range 80÷90%. Simultaneously increase in turbidity of treated model water was observed. Further experiment were performed with reject water taken from wastewater treatment plant. Filtration velocities were equal to 3.4 and 12.7 m/h. At higher filtration velocity ammonium nitrogen removal was in the range of 20 and 52%. For the last three samples removal efficiency has set at level of 30%. As filtration velocity was lower removal efficiency of ammonium nitrogen increased to 30÷70% in subsequent portions of filtrate. Stable results were obtained for the fifth portion of filtrate. Removal of ammonium nitrogen from reject water on zeolite beds depends on filtration velocity. As filtration velocity decreases removal efficiency of ammonium nitrogen increases. Stable results of ammonium nitrogen removal efficiency from reject water by zeolite beds water at level of 30%. It must be emphasised that parameters of reject water differed during the experiment. As concentration of ammonium nitrogen decreased alkalinity, pH and turbidity increased. Turbidity increase was especially visible at low filtration velocities. The same trend was observed in the case of COD.

**Keywords:** ammonium nitrogen removal, reject water, zeolite

## Wprowadzenie

Zeolity to glinokrzemiany o zróżnicowanej budowie tunelowej. Wykazują różne właściwości, między innymi sorpcyjne, jonowymiennie i katalityczne. W przyrodzie w złożach naturalnych występują różne rodzaje zeolitów, np. mordenit, chabazyt

zyt i klinoptylolity [1]. Na skuteczność i efektywność usuwania zanieczyszczeń z roztworów wodnych z wykorzystaniem zeolitów ma wpływ wiele czynników fizycznych i chemicznych, takich jak: sposób przygotowania zeolitu, skład chemiczny, rozmiar ziaren, obciążenie hydrauliczne, stężenie jonów w roztworze, pH roztworu [2].

W celu zwiększenia pojemności jonowymiennej oraz porowatości klinoptylolitu można poddać go modyfikacji polegającej np. na obróbce termicznej, działaniu kwasami, zasadami lub roztworami soli. Wyjątkowe właściwości klinoptylolitów z powodzeniem można wykorzystać do filtracji wody czy ścieków, zastępując nimi piasek kwarcowy [3]. Filtry z wypełnieniem klinoptylolitowym usuwają z wody nie tylko zawiesiny, ale również cząstki koloidalne, bakterie oraz fitoplankton [1]. Właściwości jonowymienne i sorpcyjne pozwalają na usunięcie z wody i ścieków metali ciężkich, związków żelaza i manganu. Klinoptylolity cechują się dobrą selektywnością jonowymienną względem pierwiastków promieniotwórczych [4, 5]. Klinoptylolity znalazły również zastosowanie w procesie usuwania związków azotu amonowego z roztworów wodnych, jak woda i/lub ścieki [6]. W tym przypadku zachodzi zarówno wymiana jonowa, jak i sorpcja [7]. Klinoptylolity jako jedne z nielicznych wymiennaczy jonowych mają bardzo silną wybiórczą zdolność wymiany jonowej/adsorpcji jonów  $\text{NH}_4^+$ . Liczne badania dowodzą, iż efektywność może dochodzić nawet do 90%. Optymalne warunki usuwania jonów amonowych z roztworów występują w środowisku słabo kwaśnym i obojętnym [8]. Zużyty i nasycony amoniakiem klinoptylolit można wykorzystywać do poprawy właściwości gleb oraz zregenerować go kwasem siarkowym i zastosować jako nawóz rolniczy.

W procesach przeróbki osadów ściekowych dochodzi do oddzielenia cieczy od osadu, a wygenerowane ciecze osadowe traktowane są jak silnie stężone ścieki. W większości przypadków zwracane są one do głównego ciągu technologicznego przed część mechaniczną oczyszczalni bez wcześniejszego oczyszczenia. Nie stosuje się również wyrównania składu cieczy osadowych w zbiorniku retencyjnym przed połączeniem ich ze ściekami surowymi [9]. Recyrkulowane w układzie oczyszczania ścieków ciecze osadowe z odwadniania osadu prefermentowanego wpływają na wzrost podstawowych wskaźników w oczyszczanych ściekach, głównie azotu i fosforu, powodując obniżenie efektywności pracy poszczególnych urządzeń technologicznych i tym samym utrudniając prawidłową pracę oczyszczalni [10]. Zanieczyszczenia organiczne występujące w cieczach pofermentacyjnych to przede wszystkim nierozkładalne biologicznie związki, najczęściej w formie rozpuszczonej [11, 12]. Ich zawartość w cieczach osadowych jest ściśle związana z przebiegiem beztlenowej stabilizacji osadów. Ilość cieczy osadowych generowana w oczyszczalniach ścieków jest zróżnicowana; z reguły nie przekracza 2,5% ilości oczyszczanych ścieków. Stężenia związków biogenych występujących w cieczach osadowych zależą od układu technologicznego procesu oczyszczania ścieków, jak również od urządzeń stosowanych do odwadniania prefermentowanych osadów czy też środków wspomagających odwadnianie osadów. Mimo że ilość cieczy osadowych jest stosunkowo mała, to przyczynia się do zwiększenia

obciążenia substratowego związkami azotu (od 10 do 30%) i związkami fosforu (od 10 do 80%) w głównym strumieniu oczyszczanych ścieków [13]. Uwzględniając ilość powstających cieczy osadowych oraz ich skład, powinny być one wstępnie oczyszczone ze związków azotu, fosforu i materii organicznej przed wprowadzeniem do głównego strumienia oczyszczania ścieków [14]. Może to znacząco zmniejszyć obciążenie związkami biogennymi głównego strumienia oczyszczanych ścieków.

Celem badań było określenie możliwości zastosowania procesu adsorpcji/wymiany jonowej na zeolitach w celu usunięcia azotu amonowego z cieczy osadowych. Badania były prowadzone w warunkach przepływowych z wykorzystaniem cieczy modelowej i cieczy osadowych.

## 1. Przebieg badań

Badania były realizowane z wykorzystaniem kolumny o średnicy wewnętrznej 3,4 cm z wypełnieniem zeolitym o masie 436,7 g zeolitu (wysokość złoża 50 cm). Kierunek przepływu podczas wszystkich etapów badań procesu wymiany jonowej/adsorpcji w złożu z wypełnieniem zeolitym odbywał się z góry do dołu. Początkowo określono możliwości wykorzystania naturalnego zeolitu do usuwania azotu amonowego z roztworów wodnych przy prędkości filtracji 5,0 m/h. Następnie określono wpływ prędkości filtracji na efektywność usuwania jonów amonowych  $\text{N-NH}_4^+$  z cieczy osadowych; badania prowadzono dla  $v_f = 3,4$  oraz 12,7 m/h.

Surowy zeolit, o uziarnieniu  $2\div 3$  mm, został kilkakrotnie przepłukany wodą destylowaną, suszony wstępnie w temperaturze pokojowej, a następnie w temperaturze  $90^\circ\text{C}$  w suszarce do uzyskania stałej wagi. Przygotowano roztwór modelowy azotu amonowego o stężeniu około  $100 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{dm}^3$  z wykorzystaniem chloru amonu.

Ciecz modelową poddano filtracji przez złożo zeolitym z prędkością 5,0 m/h. Kolejne porcje filtratu o objętości około  $250 \text{ cm}^3$  zbierano i poddawano analizie fizykochemicznej. Średnio czas, po którym zbierano próby, wynosił 3 minuty i 18 sekund. Całkowita objętość cieczy modelowej poddana procesowi filtracji wynosiła  $2500 \text{ cm}^3$ .

Ciecze osadowe wykorzystywane do badań laboratoryjnych pochodziły z komunalnej oczyszczalni ścieków dla RLM  $>100\ 000$ . Są to ciecze odpadowe pochodzące z procesu odwadniania na prasach prefermentowanych osadów ściekowych. Ciecze osadowe przed procesem filtracji na złożu klinoptylolitu poddano procesowi filtracji na złożu piaszkowym, usuwając część zawiesin pozostających w cieczach po procesie odwadniania. Ciecze osadowe po wstępnej filtracji poddano analizie. Charakterystykę fizykochemiczną badanych cieczy osadowych (po procesie filtracji w złożu piaszkowym) podano w tabeli 1. Ciecze osadowe charakteryzowały się brunatną barwą i wysoką mętnością, która wynosiła 94,10 NTU. Związki biogenne występowały w wysokich stężeniach - ilość fosforu wynosiła  $40,8 \text{ mg P-PO}_4^{3-}/\text{dm}^3$ , a azotu amonowego  $893,4 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{dm}^3$ . Zawartość związków

organicznych oznaczonych jako ChZT wyniosła 276 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Surowe ciecze osadowe charakteryzowały się wysoką zasadowością, która wynosiła 3350 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>, oraz odczynem zasadowym (pH = 7,92). Wstępnie podczyszczone w procesie filtracji na złożu piaskowym ciecze osadowe poddawano filtracji przez złożę zeolitowe. Kolejne porcje filtratu o objętości 500 cm<sup>3</sup> zbierano do zlewki i poddawano analizie fizykochemicznej. Czas, po którym zbierano kolejne próby przy prędkości filtracji  $v_f = 3,35$  m/h, wynosił 592 sekundy, a przy prędkości filtracji  $v_f = 12,7$  m/h wynosił 156 sekund. Całkowita objętość cieczy osadowej poddana procesowi filtracji wynosiła 10 000 cm<sup>3</sup>.

Tabela 1. Charakterystyka cieczy osadowych

Table 1. Characteristics of reject water

Wskaźnik	pH	Zasadowość	Fosfor	Azot amonowy	ChZT <sub>Cr</sub>	Mętność
Jednostka	-	mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /dm <sup>3</sup>	mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	NTU
Wartość	7,92	3350	40,8	893,4	276	94,1

Parametry oznaczane dla surowych cieczy osadowych wykonano nie później niż 3 h po pobraniu. Wartości poszczególnych parametrów wyliczono jako średnią z trzech powtórzeń.

Przed i po procesie adsorpcji/wymiany jonowej przez złożę klinoptylolitu oznaczono następujące parametry: pH - metodą potencjometryczną, zasadowość - metodą miareczkową potencjometryczną [15], ChZT<sub>Cr</sub> - metodą dwuchromianową skróconą (PN-74/C-04578.03), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - metodą miareczkową po destylacji [15], PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - metodą spektrofotometryczną [15], mętność metodą turbidymetryczną z wykorzystaniem mętnościomierza.

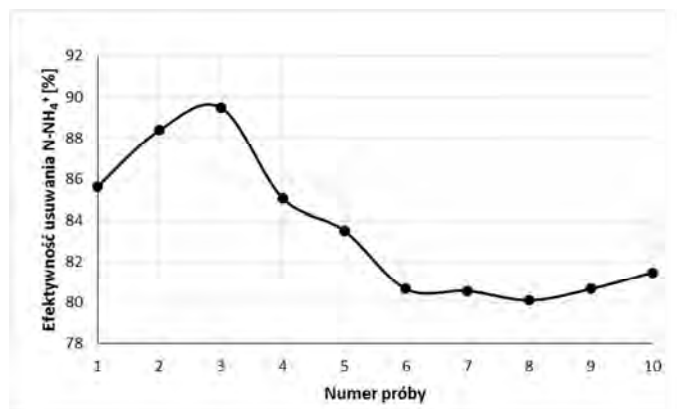
## 2. Wyniki i dyskusja

W pierwszym etapie badania były prowadzone w warunkach przepływowych przy użyciu cieczy modelowej. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Stężenie azotu amonowego początkowo zmniejszało się, jednak w kolejnych próbach stężenie ponownie zaczęło wzrastać. Najmniejsze stężenie azotu amonowego zaobserwowano w próbie 3, po przefiltrowaniu 750 cm<sup>3</sup> cieczy modelowej, i wynosiło ono 10,33 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. Efektywność usuwania jonów amonowych w kolejnych próbach była już niższa i wyniosła od 85% dla próby 4 do 80% dla prób 6-9 uzyskanych po czasie 1188 s (rys. 1). Jednocześnie zaobserwowano zwiększoną mętność filtratu. Mętność roztworu cieczy modelowych początkowo wynosiła 6,62 NTU. Po procesie filtracji mętność badanych cieczy osadowych początkowo wzrosła do 14,1 NTU, a w końcowym etapie filtracji zmniejszyła się do około 9 NTU. Uzyskując ponad 80% usuwanie azotu amonowego z cieczy modelowej, postanowiono prowadzić dalsze badania tylko na cieczach osadowych pomimo prawie 9-krotnie wyższych zawartości związków azotu w cieczach osadowych.

Tabela 2. Zmiany wybranych parametrów cieczy modelowych podczas procesu wymiany jonowej/adsorpcji w złożu z wypełnieniem zeolitym przy prędkości  $v_f = 5,0$  m/hTable 2. Changes in the selected process parameters during the ion-exchange/adsorption at bed packed with zeolite  $v_f = 5.0$  m/h

Próba / Parametr/jednostka	pH -	Stężenie $N-NH_4^+$ mg $N-NH_4^+$ /dm <sup>3</sup>	Mętność NTU
Ciecz modelowa	6,81	98,41	6,62
1	6,63	14,14	14,1
2	5,88	11,42	9,52
3	6,02	10,33	9,85
4	6,17	14,68	10,9
5	6,25	16,22	12,2
6	6,26	19,03	11,1
7	6,43	19,12	11,4
8	6,54	19,57	9,30
9	6,82	19,03	9,44
10	6,92	18,22	9,13

Rys. 1 Efektywność usunięcia  $N-NH_4^+$  z cieczy modelowejFig. 1. The efficiency of the removal of  $N-NH_4^+$  from model liquid

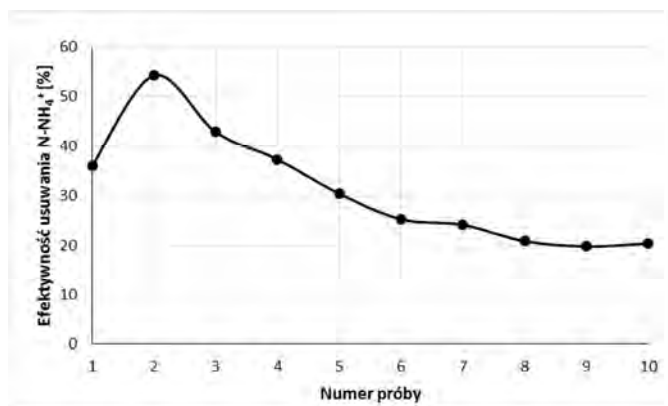
Badania z wykorzystaniem cieczy osadowych prowadzono dla dwóch prędkości filtracji. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania dla prędkości filtracji cieczy osadowych wynoszącej  $v_f = 12,7$  m/h. Zmiany wybranych parametrów w kolejnych porcjach filtratu przedstawiono w tabeli 3. Podczas procesu wymiany jonowej/adsorpcji w złożu z wypełnieniem zeolitym w każdej próbie zaobserwowano zwiększoną mętność. Największą mętność zaobserwowano w próbie 1, w kolejnych próbach wartość mętności uległa ustabilizowaniu, przyjmując wartości zbliżone do mętności filtrowanych cieczy osadowych. Zawartość związków organicznych uległa zmniejszeniu od 18 do 20%. Procesowi filtracji towarzyszyło niewielkie zwiększenie wartości zarówno pH, jak i zasadowości. pH wzrosło mak-

symalnie o 0,13, natomiast zasadowość o 10%. Podczas procesu adsorpcji/wymiany jonowej na kolumnie z wypełnieniem zeolitywym zanotowano zmniejszenie stężenia azotu amonowego we wszystkich porcjach. W pierwszych próbach zmniejszenie azotu wyniosło nawet 50%, natomiast dla trzech końcowych prób efektywność usuwania azotu amonowego była na podobnym poziomie i wyniosła około 20% (rys. 2). Efektywność usunięcia azotu wyrażona w % jest stosunkowo niewielka, jednak ilość usuniętego azotu amonowego wynosi maksymalnie 489,4, a minimalnie 176,8 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. Z wprowadzonego w czasie badań do kolumny azotu amonowego w ilości 4466 mg z filtrowanych cieczy osadowych usunięto około 1390 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Tabela 3. Zmiany wybranych wskaźników cieczy osadowych podczas procesu adsorpcji/wymiany jonowej przy prędkości  $v_f = 12,72$  m/h

Table 3. Changes selected parameters of reject water during the process of adsorption/ion exchange with  $v_f = 12.72$  m/h

Próba Parametr/ jednostka	pH	Zasadowość mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	Stężenie N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup>	Mętność NTU	ChZT mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>
1	7,98	3350	571,2	131	212
2	7,98	3550	408,8	94,1	212
3	8,01	3600	509,6	95,5	212
4	8,02	3650	560,0	94,3	218
5	8,02	3600	621,6	90,2	224
6	8,02	3700	667,6	93,2	224
7	8,03	3650	677,6	92,4	228
8	8,03	3600	706,8	95,3	212
9	8,05	3650	716,4	93,6	224
10	8,05	3700	711,2	95,4	212



Rys. 2. Efektywność usunięcia N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> z cieczy osadowych przy prędkości  $v_f = 12,72$  m/h

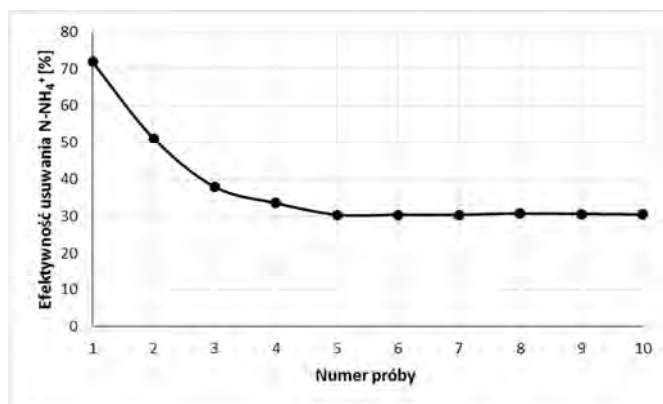
Fig. 2. The efficiency of removal of N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> with reject water at  $v_f = 12.72$  m/h

W tabeli 4 przedstawiono wyniki analiz kolejnych filtratów zebranych podczas dalszego procesu adsorpcji/wymiany jonowej na kolumnie z wypełnieniem klinoptylitowym przy zmniejszonej prędkości filtracji  $v_f = 3,35$  m/h.

Tabela 4. Zmiany wybranych wskaźników cieczy osadowych podczas procesu adsorpcji/wymiany jonowej przy prędkości  $v_f = 3,35$  m/h

Table 4. Changes in selected parameters of reject water during the process of adsorption/ion exchange with  $v_f = 3.35$  m/h

Próba	Parametr/ jednostka	pH	Zasadowość mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	Stężenie N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup>	Mętność NTU	ChZT mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>
1		8,04	3450	252,0	122	354
2		8,12	3600	436,8	128	354
3		8,19	3600	554,4	113	352
4		8,19	3700	593,6	101	352
5		8,18	3700	621,6	101	340
6		8,16	3750	621,6	99,7	328
7		8,14	3750	621,6	99,2	332
8		8,19	3700	618,2	99,1	322
9		8,16	3700	619,4	98,6	318
10		8,12	3650	620,8	98,2	312



Rys. 3. Efektywność usunięcia N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> z cieczy osadowych przy prędkości  $v_f = 3,35$  m/h

Fig. 3. The efficiency of removal of N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> with reject water at  $v_f = 3.35$  m/h

Prawie 4-krotne zmniejszenie prędkości filtracji uwidocznilo parametry silnie zależne od prędkości filtracji oraz takie, które są od niej raczej niezależne. Zmniejszając prędkość filtracji, uzyskano zwiększenie efektywności usunięcia azotu amonowego. Przy prędkości  $v_f = 12,72$  m/h stężenie azotu w 10 porcji filtratu (po czasie filtracji 1560 s) było na poziomie 711,20 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>, a przy prędkości  $v_f = 3,35$  m/h stężenie azotu po wprowadzeniu do złoża 5000 dm<sup>3</sup> (w 10 próbie - po czasie 5922 s) wyniosło 621,60 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. Przy większej prędkości efektywność usunięcia azotu kształtuje się na poziomie 20%, natomiast przy mniejszej prędkości 30%. Przy tak wysokim stężeniu początkowym azotu amonowego 10%

różnica usunięcia azotu ma bardzo istotne znaczenie (zmniejszenie stężenia o prawie 90 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>). Jednocześnie podobne zależności, jak przy  $v_f = 12,72$  m/h zaobserwowano dla zasadowości oraz pH. Zasadowość maksymalnie wzrosła o 10%, natomiast pH wzrosło o 0,27. Zanotowano z kolei wyższe wartości mętności niż te, które występowały dla filtratów przy większej prędkości. Równocześnie wzrosła wartość parametru ChZT, co mogło być związane ze zwiększającą się mętnością. Jednocześnie należy zaznaczyć, że wartość ChZT zwiększyła się maksymalnie o 22%, a minimalnie 11% dla próby 10.

## Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że proces adsorpcji/ wymiany jonowej na złożu wypełnionym zeolitem jest skuteczną metodą usuwania azotu amonowego z roztworów wodnych. Przy stosowaniu roztworów modelowych, zawierających jedynie chlorek amonu, możliwe było uzyskanie 80÷90% efektywności usuwania jonu amonowego. Jest to zgodne z danymi literaturowymi. Przy prowadzeniu badań na rzeczywistych próbkach środowiskowych - cieczach osadowych, efektywność usuwania azotu amonowego była o wiele mniejsza. Zmniejszanie zawartości azotu amonowego było uzależnione od prędkości filtracji przez złoża zeolitowe. Przy stosowaniu prędkości filtracji 12,72 m/h efektywność usuwania N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> wynosiła od 20 do 52%, natomiast przy zmniejszeniu prędkości filtracji ponad 3-krotnie efektywność usuwania azotu amonowego wynosiła od 30 do 70% w kolejnych porcjach filtratu. Stabilny proces adsorpcji/wymiany jonowej uzyskano dopiero od próby 5 przy niższej prędkości filtracji (po czasie 2960 s) oraz próby 8 dla wyższej prędkości po czasie (1248 s). Wpływ na niską efektywność usuwania azotu amonowego miała nie tylko sama prędkość filtracji, ale w większym stopniu skład fizykochemiczny cieczy osadowej (zawartość związków organicznych czy też drobna zawiesina).

Analizując przeprowadzone badania, można stwierdzić, że wykorzystanie zeolitu do usuwania azotu amonowego ma sens, jednak przy takich dużych stężeniach początkowych jak w przypadku cieczy osadowych złoża zeolitowe mogą być wykorzystane tylko w celu częściowego usunięcia jonów amonowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- usunięcie azotu amonowego z cieczy osadowych w warunkach przepływowych jest uzależnione od prędkości filtracji,
- wykorzystanie samego zeolitu do usunięcia azotu amonowego z cieczy osadowych jest niewystarczające; możliwość stabilnego usunięcia azotu z cieczy osadowych na złożu zeolitowym jest na poziomie nie większym niż 30%.

## Literatura

- [1] Podstolski R., Zeolity - inteligentne minerały, Wydawnictwo Gór - Tech, Eko - Styl 1993, 5, 12.
- [2] Petrus R., Warchoń J., Kierunki zastosowań naturalnego zeolitu - klinoptylolitu, Chemia i Inżynieria Ekologiczna 2000, 4, 327-337.



- [3] Kaleta J., Papciak D., Puzkarewicz A., Klinoptylolity i dolomity w aspekcie przydatności w uzdatnianiu wody i oczyszczaniu ścieków, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 2011, 23, 22-33.
- [4] Anielak A. M., Zeolity naturalne i ich zastosowanie w oczyszczaniu wody oraz ścieków, *Ekologia i Technika* 2000, 2, 31-41.
- [5] Papciak D., Granops M., Możliwość zastosowania klinoptylolitów do uzdatniania wód podziemnych, II Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Uzdatnianie wód podziemnych, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997, 16-24.
- [6] Wiśniowska E., Karwowska B., Sparczyńska E., Interwencyjne wykorzystanie zeolitów w oczyszczaniu ścieków, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, Inżynieria Środowiska* 2015, 40(160), 56-62.
- [7] Bernal M.P., Lopez-Real J.M., Scott K.M., Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory simulator, *Bioreour.Technol.* 1993, 43, 35-39.
- [8] Papciak D., Zastosowanie klinoptylolitów do usuwania azotu amonowego z roztworów wodnych, Rozprawa doktorska, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 1998.
- [9] Rzyńska J., Problem wód osadowych i możliwości ich oczyszczania w Polsce, *GWITS* 2006, 7-8, 58-62.
- [10] Boruszko D., Gospodarka wodami osadowymi - aspekty techniczno-ekonomiczne, *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Inżynieria Środowiska* 2003, 16, 258-267.
- [11] Styka W., Beńko P., Wpływ gospodarowania wodami osadowymi na usuwanie azotu ze ścieków miejskich, *GWITS* 2007, 9, 16-20.
- [12] Karwowska B., Sparczyńska E., Wiśniowska E., Characteristics of reject waters and condensates generated during drying of sewage sludge from selected wastewater treatment plants, *Desalination and Water Treatment* 2016, 57, 3, 1176-1186.
- [13] Piaskowski K., Generowanie ładunków powrotnych fosforu podczas przeróbki osadów ściekowych, *GWITS* 2008, 1, 22-26.
- [14] Guo C.H., Kuang S.L., Stabnikov V., Ivanov V., The removal of phosphorus from wastewater using anoxic reduction of iron ore in the rotating reactor, *Biochem. Eng. J.* 2009, 46, 223-226.
- [15] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association/Water Environment Federation, Washington, DC 1998.

## Streszczenie

Badania prowadzono w kierunku określenia możliwości zastosowania procesu adsorpcji/wymiany jonowej na zeolitach w celu usunięcia azotu amonowego z cieczy osadowych. Do badań wykorzystano ciecz osadowe pochodzące z odwadniania przefermentowanych komunalnych osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków o RLM powyżej 100 000. Ciecze osadowe charakteryzowały się bardzo wysokimi stężeniami związków biogenych: azotu (893,4 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>) oraz fosforu (40,8 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/dm<sup>3</sup>). Ponadto ciecze wyróżniały się wysoką brunatną barwą, odczynem zasadowym (pH = 7,92) oraz wysoką mętnością (94,1 NTU). Usuwanie azotu amonowego na złożu zeolitym prowadzono w pierwszej kolejności dla cieczy modelowej o stężeniu około 100 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. Uzyskano od 80 do 90% efektywność usunięcia N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Jednocześnie zaobserwowano zwiększenie mętności filtratu. Następnie określono wpływ prędkości filtracji na efektywność usuwania jonów amonowych z cieczy osadowych. Badania prowadzono dla v<sub>f</sub> = 3,4 oraz 12,7 m/h. Przy wyższej prędkości filtracji uzyskano zmniejszenie zawartości azotu amonowego od 20 do 52%, natomiast przy niższej od 30 do 70% w kolejnych porcjach filtratu. Usunięcie azotu amonowego z cieczy osadowych w warunkach przepływowych jest uzależnione od prędkości filtracji; im mniejsza prędkość filtracji, tym bardziej zwiększa się efektywność usunięcia azotu amonowego. Uzyskano możliwość stabilnego usunięcia azotu amonowego z cieczy osadowych na złożu zeolitym na poziomie nie większym niż 30%.

**Słowa kluczowe:** usuwanie azotu amonowego, ciecz osadowe, zeolity