

Warunki beztlenowe w zbiorniku uśredniającym, a odwadnianie osadów ściekowych

Anaerobic conditions in the averaging tank and sewage sludge dewatering

MICHAŁ HYRYCZ, MAREK OCHOWIAK, ANDŻELIKA KRUPIŃSKA, SYLWIA WŁODARCZAK

DOI 10.36119/15.2024.5.6

W pracy przedstawiono rezultaty badań wpływu czasu przetrzymania osadów nadmiernych i przefermentowanych na ich odwadnialność oraz jakość uzyskiwanego odcieku. Do badań wykorzystano próbki osadów pobrane z lokalnej oczyszczalni ścieków komunalnych. Próbki przetrzymywane były w modelowym zbiorniku uśredniającym. W określonych odstępach czasu w próbkach oznaczano stężenie fosforu ogólnego, ChZT, azotu amonowego oraz czas ssania kapilarnego. Uzyskane wyniki dla osadu nadmiernego wykazały, że wraz ze wzrostem czasu przetrzymania dochodzi do wzrostu ładunku zanieczyszczeń w odciekach oraz pogorszenia odwadnialności osadu. W przypadku osadów przefermentowanych, dłuższy czas przetrzymania powoduje spadek czasu ssania kapilarnego oraz ChZT w odciekach. Odpowiednie sterowanie czasem przetrzymania osadu stanowi więc łatwy sposób na obniżenie zawracanego ładunku i ilości produkowanych osadów, a przez to zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych oczyszczalni.

Słowa kluczowe: ścieki, osady, odwadnianie

The paper presents the results of research on the influence of the retention time of waste activated sludge and digested sludge on their dewaterability and the quality of the obtained centrate. Sludge samples taken from a local municipal wastewater treatment plant were used for the study. The samples were kept in a model holding tank. At specific time intervals, the concentration of total phosphorus, COD, ammonium nitrogen and capillary suction time were determined in the samples. The results obtained for waste activated sludge showed that as the retention time increases, the load of pollutants in the centrate increases and dewaterability deteriorates. In the case of digested sludge, a longer retention time causes a decrease in capillary suction time and COD in the centrate. Appropriate control of the sludge retention time is therefore an easy way to reduce the recycled load and the amount of sludge produced, and thus reduce the operating costs of the treatment plant.

Keywords: sewage, sludge, dewatering

Wstęp

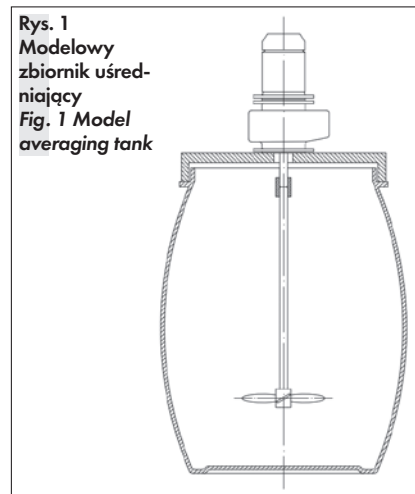
Osady nadmierne i przefermentowane powstające w procesie oczyszczania ścieków przed dalszą obróbką są magazynowe w zbiornikach wyposażonych w mieszadła prętowe i kierunkowe. Pozwala to na ich odgazowanie i uzyskanie stałego stężenia substancji stałych w strumieniu, a przez to zapewnienie stabilnej pracy urządzeń odwadniających. Panujące w zbiornikach warunki beztlenowe wpływają na zachodzące w osadzie procesy biochemiczne, w wyniku których dochodzi do zmian ich właściwości [1]. Osady ściekowe po odwodnieniu są przekazywane do zagospodarowania, nierzadko do instalacji oddalonych o setki kilometrów od miejsca ich wytworzenia. Uzyskanie wysokiego stopnia odwodnienia jest kluczowe do ograniczenia ilości osadów, a przez to zmniejszenia kosztów transportu. Powstałe w tym procesie odcieki stanowią znaczący udział w całości dopływającego ładunku do obiektu [2]. Aktu-

alnie wciąż poszukuje się rozwiązań pozwalających na łatwe i niskokosztowe zmniejszenie ilości zużywanych flokulantów oraz produkowanych osadów [3], [4]. Jednym z rozwiązań jest optymalizacja pracy już istniejącej instalacji, jednak do jej wykonania konieczne jest poznanie zależności oraz mechanizmów zachodzących reakcji i zjawisk w procesie oczyszczania ścieków [5]. Jedną z metod laboratoryjnego określenia odwadnialności osadu jest pomiar czasu ssania kapilarnego (CSK) [6]. W poniższej pracy przedstawiono wyniki badań wpływu czasu magazynowania osadu nadmiernego oraz przefermentowanego na CSK oraz wybranych zanieczyszczeń wskaźnikowych.

Materiały i metoda

Do badań wykorzystano próbki osadu nadmiernego (ON) i przefermentowanego (OP) pobrane z oczyszczalni ścieków komunalnych zlokalizowanej w Wielkopolsce

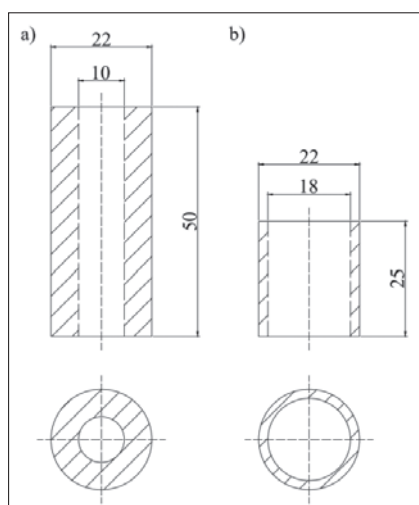
o projektowanej wielkości 1,2 mln RLM. Osady przetrzymywane były przez 12 dni w modelowym zbiorniku uśredniającym o pojemności ok. 120 litrów, którego projekt przedstawiono na rys. 1. W zbiorniku zamontowane



mgr inż. Michał Hyrycz, <https://orcid.org/0000-0001-8802-3802>, dr hab. inż. Marek Ochowiak, <https://orcid.org/0000-0003-1543-9967>, dr inż. Andżelika Krupińska, <https://orcid.org/0000-0002-1485-9794>, dr inż. Sylwia Włodarczak, <https://orcid.org/0000-0003-0561-0177> – Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań.
Adres do korespondencji / Corresponding Author: michal.hyrycz@doctorate.put.poznan.pl

było, uruchamiane okresowo, mieszadło wolnoobrotowe zapobiegające sedymentacji. Stężenie ON wynosiło $1,1 \pm 0,1\%$ s.m., a OP $2,9 \pm 0,2\%$ s.m.. Okresowo pobierane próbki osadów odwirowywano przez 5 minut ze względną siłą odśrodkową 4420 g na wirówce laboratoryjnej SBS-LZ-5000 LS firmy Steinberg Systems. Wytrąconą wodę nadosadową zlaną z nad utworzonego placka, przefiltrowano na sączkach filtracyjnych (retencja $>4 \mu\text{m}$, gramatura $70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), a w uzyskanym filtracie oznaczono stężenia wybranych wskaźnikowych zanieczyszczeń.

Do badań czasu ssania kapilarnego wykorzystano zestaw firmy Envolab, bibuły chromatograficzne Whatman 17 oraz dwa cylindry różniące się wymiarami (rys. 2).



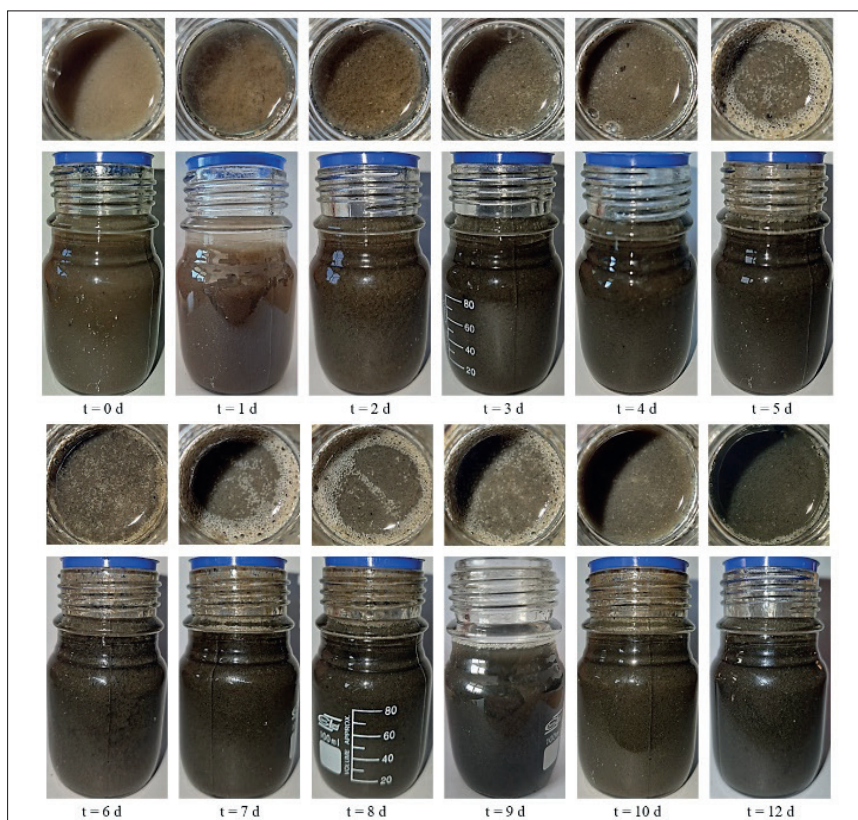
Rys. 2
Średnice cylindrów wykorzystanych w badaniach CSK
Fig. 2 Diameters of cylinders used in CST tests

Analiza wyników

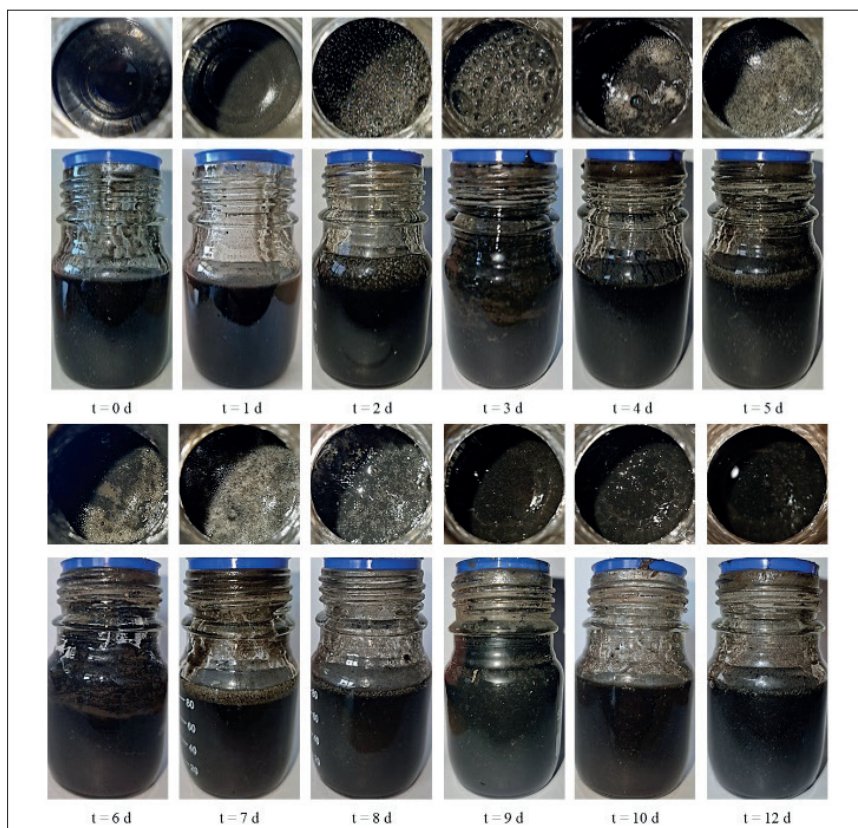
Wraz z upływem czasu zaobserwowano zmianę barwy próbek ON z jasnobrązowej na czarną. Średnica kłaczków osadu wzrosła do 4 dnia, a następnie malała. W 12 dniu kłaczków były prawie niewidoczne. Od 5 dnia w osadzie obserwowane były pęcherze gazu oraz piana na powierzchni. Zapach osadu zmienił się z ziemistego na gnilny. Gazowanie osadu ustało po 12 dniach przetrzymywania. Zdjęcia osadu zostały przedstawione na rys. 3.

W próbkach OP obserwowano pęcherzyki gazu w całym badanym okresie. Na powierzchni okresowo pojawiała się piana, która łatwo gasła po wstrząśnięciu próbką. W badanym okresie nie zaobserwowano zmian barwy oraz zapachu. Zdjęcia osadu zostały przedstawione na rys. 4 poniżej.

W przypadku odcieków z ON zaobserwowano wzrost stężenia ChZT w czasie o ok. $1,3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. Świadczy to o rozpadzie komórek bakteriowych i uwolnieniu związków organicznych do wody nadosadowej. Znajduje to też potwierdzenie w zmianie wielkości kłaczków. W odciekach z OP obserwowano spadek stężenia ChZT o ok. $1,3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, co świadczy o postępującym procesie fermentacji i zużyciu



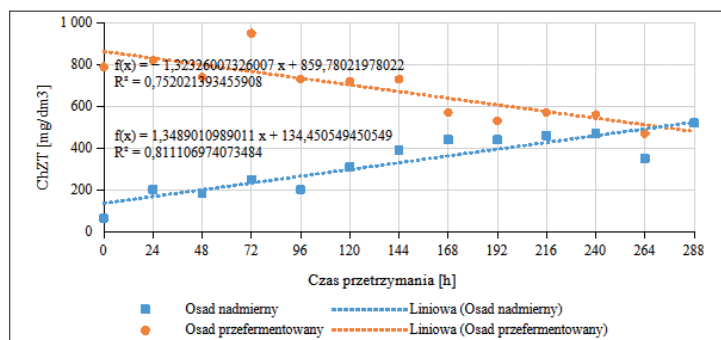
Rys. 3
Zdjęcia osadu nadmiernego przy czasach przetrzymania od 0 do 12 dni
Fig. 3 Photos of waste activated sludge at retention times from 0 to 12 days



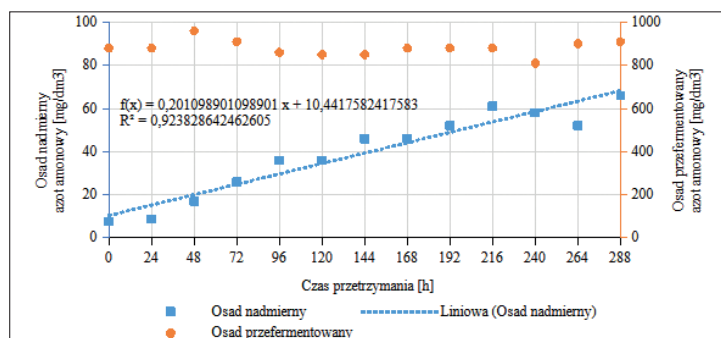
Rys. 4
Zdjęcia osadu prefermentowanego przy czasach przetrzymania od 0 do 12 dni
Fig. 4 Photos of digested sludge at retention times from 0 to 12 days

rozpuszczonych substancji odżywczych. Stężenie początkowe ChZT dla osadu prefermentowanego było około 13 razy większe niż dla osadu nadmiernego (odpowiednio $790 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i $63 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$).

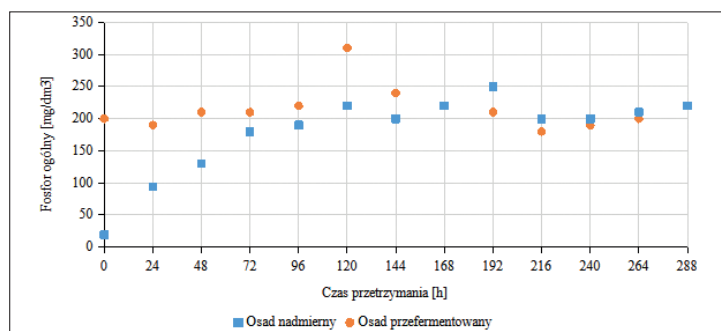
Stężenie azotu amonowego w odciekach z ON rosło w czasie ze średnią prędkością ok. $0,2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. W przypadku odcieków z OP nie zaobserwowano znaczących różnic w uzyskiwanym stężeniu azotu



Rys. 5
Zmiana stężenia ChZT w odciekach w czasie
Fig. 5 Change in COD concentration in centrates over time



Rys. 6
Zmiana stężenia azotu amonowego w odciekach w czasie
Fig. 6 Change in the concentration of ammonium nitrogen in centrates over time



Rys. 7
Zmiana stężenia fosforu ogólnego w odciekach w czasie
Fig. 7 Change in the concentration of total phosphorus in centrates over time

amonowego. Stężenie początkowe amoniaku w DS było ok. 90 razy większe niż w ON.

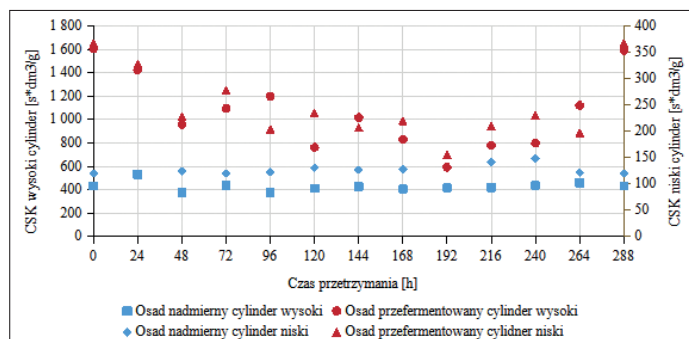
Ze względu na panujące w zbiorniku warunki beztlenowe, z ON wtórnie uwolnić się zasymilowany w komórkach bakteryjnych fosfor. Po czterech dniach przetrzymywania stężenie fosforu w odciekach z ON osiągnęło porównywalny poziom z odciekami z OP tj. ok. 200 mg·dm⁻³. Dzięki odwadnianiu ON z krótkim czasem przetrzymania można zmniejszyć ładunek fosforu trafiający do bioreaktorów. Może to być rozwiązanie zmniejszające ilość zużywanego siarczanu (IV) żelaza (III) w procesie technologicznym, a także poprawiające właściwości nawozowe powstałych osadów.

Dla OP zaobserwowano paraboliczną zmianę wartości CSK (rys. 8). OP charakteryzował się wyższym CSK w porównaniu do ON w całym analizowanym okresie. War-

tość minimalną uzyskano dla t = 8 d (dla cylindra niskiego 48 s, dla cylindra wysokiego 183 s). Przy uwzględnieniu stężenia osadów, wartość CSK dla t = 8 d była zbliżona dla obu rodzajów osadu. W przypadku OP przetrzymywanie do 192 h powoduje spadek wartości CSK. Przyczyną może być postępujący proces fermentacji, zużywanie zewnątrzkomórkowych związków polimerowych i w następstwie zmniejszenie lepkości osadu. Dla ON zaobserwowano wzrost wartości CSK, który jest spowodowany rozpadem flokul osadu i uwolnieniem do wody nadosadowej związków organicznych.

Podsumowanie

Czas przetrzymania wpływa na charakterystykę obu rodzajów osadu. W przypadku ON w krótkim czasie (do 4 dni) dochodzi



Rys. 8
Zmiana wartości CSK osadu nadmiernego i przefermentowanego z uwzględnieniem stężenia osadu
Fig. 8 Change in the CST value of waste activated and digested sludge, taking into account the sludge concentration

do uwolnienia dużej ilości fosforu ogólnego, ChZT, oraz azotu amonowego. Prowadzi to do wzrostu ładunku zawracanego na początek układu w odciekach, a przez to obciążenie części biologicznej i wzrostu zużycia energii elektrycznej w procesie napowietrzania. Stężenie fosforu ogólnego w odciekach z ON, już po 4 dniach osiąga poziom porównywalny z odciekami z OP tj. około 200 mg·dm⁻³. Dzięki zmniejszeniu czasu przetrzymania ON można zwiększyć stężenia fosforu w osadzie odwodnionym, a przez to poprawić jego właściwości nawozowe [7]. Dodatkowo, rozpadające się kłaczkki zwiększają swoją powierzchnię, co prowadzi do wzrostu zapotrzebowania na flokulant. W przypadku OP zwiększenie czasu przetrzymania korzystnie wpływa na jakość uzyskiwanego odcieku w zakresie ChZT oraz poprawia jego odwadnialność, nie wpływa natomiast na stężenie azotu amonowego oraz fosforu ogólnego. W celu uzyskania wysokiego stopnia odwodnienia ON powinny być zatem przechowywane możliwie jak najkrócej, a OP możliwie jak najdłużej, lecz nie dłużej niż 192 h.

LITERATURA

- [1] Z. Lei, X. Luo, Z. Zhang, i N. Sugiura, „Effects of Variations of Extracellular Polymeric Substances and Soluble Microbial Products on Activated Sludge Properties During Anaerobic Storage”, *Environmental Technology*, t. 28, nr 5, Art. nr 5, maj 2007, doi: 10.1080/09593330.2007.9619781.
- [2] G. Pęciak-Foryś, K. Barbusiński, i M. Żołnierczyk, „Eksplotacja oczyszczalni ścieków w warunkach przeciążenia ładunkiem azotu z odcieków pofermentacyjnych”, *Instal*, t. 432, nr 9, s. 45–49, wrz. 2021, doi: 10.36119/15.2021.9.6.
- [3] D. Poproch, M. Cimochołowicz-Rybicka, J. Górka, i B. Łuszczek, „Gospodarka osadami ściekowymi w miejskiej oczyszczalni ścieków”, *Instal*, t. 444, nr 10, s. 47–50, paź. 2022, doi: 10.36119/15.2022.10.6.
- [4] I. Płonka i M. Adamkowska, „Application of ultrasonic disintegration of post-coagulation sludge Zastosowanie dezintegracji ultradźwiękowej dla osadu pokaagulacyjnego”, *Instal*, t. 459, nr 2, s. 49–52, luty 2024, doi: 10.36119/15.2024.2.6.
- [5] B. Kończak, P. Zawadzki, i M. Pieczonka, „Modelowanie pracy oczyszczalni ścieków w zmiennych warunkach”, *Instal*, t. 416, s. 42–49, kwi. 2020, doi: 10.36119/15.2020.4.7.
- [6] P. A. Vesilind i B. Örmeci, „A modified capillary suction time apparatus for measuring the filterability of super-flocculated sludges”, *Water Science and Technology*, t. 42, nr 9, Art. nr 9, lis. 2000, doi: 10.2166/wst.2000.0189.
- [7] B. Zawadzka, T. Siwiec, i M. Marzec, „Zastosowanie opoki i pochodnych do usuwania fosforu ze ścieków – przegląd literatury”, *Instal*, t. 453, nr 78, s. 50–54, sie. 2023, doi: 10.36119/15.2023.7.8.8.

Badania zostały przeprowadzone w ramach Programu Doktorat Wdrożeniowy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego realizowanego w latach 2020-2024 (Umowa nr DWD//4/23/2020). Artykuł przygotowany w ramach Programu Doktorat Wdrożeniowy.