

Krzysztof Barbusiński, Barbara Pieczykolan, Helena Kościelniak, Magdalena Amalio-Kosel

## Wpływ odcieków składowiskowych na skuteczność oczyszczania ścieków miejskich i właściwości osadu czynnego

Odcieki ze składowisk odpadów stanowią wody opadowe, które penetrują w głąb złoża odpadów, jak również wymywane z niego produkty biochemicznych przemian związków organicznych zachodzących wewnątrz złoża [1]. Ilość i skład odcieków zależą przede wszystkim od wieku i sposobu eksploatacji składowiska, ilości wody dostającej się do obiektu, a także od sposobu zagęszczenia odpadów [1,2]. Odcieki charakteryzują się większą – w porównaniu do ścieków komunalnych – zawartością związków organicznych i nieorganicznych, pochodzących w głównej mierze z pośrednich produktów fermentacji zachodzącej w składowisku, a także substancji rozpuszczonych wymytych z odpadów przez przesiąkającą wodę. Ponadto odcieki zawierają takie zanieczyszczenia, jak azot i fosfor ogólny, chlorki oraz metale ciężkie (Fe, Cr, Ni, Cu i Cd), których zawartość nie zależy w znacznej mierze od wieku deponowanych odpadów [3].

Odcieki z tzw. młodych składowisk (wiek zdeponowanych odpadów nie przekracza 3÷5 lat) charakteryzują się dużymi wartościami ChZT i BZT<sub>5</sub>, które stanowią miarę zawartości związków organicznych, będących częściowo produktami kwaśnej fazy fermentacji metanowej odpadów, a częściowo wymytmymi składnikami zanieczyszczeń z samych odpadów. Wraz z wydłużaniem czasu składowania odpadów ilość związków organicznych ulega zmniejszeniu na skutek postępującego rozkładu frakcji organicznej. Wartości ChZT i BZT<sub>5</sub> maleją, jednak zmiany te nie są równomierne, ponieważ ubywa w odpadach substancji łatwo rozkładalnych, a pozostają substancje trudno rozkładalne. Dlatego w przypadku tzw. starych składowisk (wiek zdeponowanych odpadów powyżej 10 lat) udział frakcji nierozkładalnej znacznie przewyższa udział związków łatwo rozkładalnych, a stosunek BZT<sub>5</sub>/ChZT, w przypadku składowisk całkowicie ustabilizowanych, zmniejsza się nawet do 0,1 [4].

Nowoczesne składowiska odpadów komunalnych, zgodnie z obowiązującym prawem [5], muszą być wyposażone między innymi w drenażowy system ujmowania odcieków. Prawo polskie traktuje odcieki jako ścieki przemysłowe [6], które przed odprowadzeniem do środowiska muszą zostać odpowiednio oczyszczone [7, 8], przy czym stopień ich oczyszczenia zależy od rodzaju odbiornika. Możliwe jest wprowadzanie odcieków składowisko-

wych do oczyszczalni ścieków komunalnych (za pomocą kanalizacji lub wozów asenizacyjnych) [9], pod warunkiem, że nie spowodują zakłóceń pracy oczyszczalni. Zatem odcieki powinny być podczyszczone na składowisku odpadów lub też ich ilość w stosunku do ścieków komunalnych dopływających do oczyszczalni musi być na tyle mała, aby nie powodowały niepożądanych skutków w procesie oczyszczania. W Polsce najczęściej stosowanym sposobem postępowania z odciekami jest ich odprowadzanie do miejskich oczyszczalni ścieków, zazwyczaj bez wcześniejszego podczyszczenia. Ponieważ odcieki (zwłaszcza ze starych składowisk), podobnie jak ścieki przemysłowe, zawierają również substancje, które nie są podatne na procesy biodegradacji i mogą inhibować te procesy, ich wprowadzenie do biologicznej oczyszczalni może powodować poważne zakłócenia procesu oczyszczania [10].

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu wzrastających dawek odcieków składowiskowych w mieszaninie ze ściekami komunalnymi na skuteczność procesu oczyszczania i charakterystykę osadu czynnego.

### Metodyka badań

Mieszanie ścieków zasilających układ badawczy z osadem czynnym stanowiły rzeczywiste ścieki miejskie oraz odcieki pochodzące ze starego składowiska odpadów komunalnych. Odcieki charakteryzowały się stosunkowo małymi wartościami ChZT (800÷1300 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) i BZT<sub>5</sub> (220÷280 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>). ChZT ścieków komunalnych zawierało się natomiast w przedziale 480÷690 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, a BZT<sub>5</sub> od 250 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> do 360 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Wartości pH odcieków i ścieków komunalnych mieściły się odpowiednio w zakresach 7,3÷7,6 i 7,0÷7,5.

Przed rozpoczęciem właściwych badań nadmierny osad czynny pobrany z komunalnej oczyszczalni ścieków przez 18 d zasilano ściekami miejskimi z tej samej oczyszczalni, aby przystosować go do warunków laboratoryjnych. Następnie rozpoczęto właściwe badania, w trakcie których stopniowo zwiększano udział objętościowy odcieków w stosunku do ścieków komunalnych. Właściwe badania prowadzono przez 112 d, stopniowo zwiększając udział odcieków w mieszaninie ścieków (od 2% do 60%) doprowadzanych do układu badawczego składającego się z bioreaktora przepływowego o pojemności 4,5 dm<sup>3</sup> i osadnika o pojemności 1 dm<sup>3</sup>. Mieszanie ścieków i odcieków wprowadzano do bioreaktora z osadem czynnym za pomocą pompy perystaltycznej z taką wydajnością, aby czas

przetrzymania w bioreaktorze wynosił 24 h. Średnia zawartość osadu czynnego w reaktorze wynosiła  $4 \text{ g/dm}^3$ , a tlenu rozpuszczonego  $1,5 \div 2,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ . Obciążenie osadu ładunkiem ChZT zmieniało się w zakresie  $0,07 \div 0,43 \text{ gO}_2/\text{g}\cdot\text{d}$ , w miarę zwiększania ilości odcieków w mieszaninie ścieków. Osad czynny napowietrzano sprężonym powietrzem za pomocą dmuchawy HP-100 (Techno Takatsuki Co. Ltd.) przez dyfuzor w postaci ceramicznego elementu porowatego. Dodatkowo zawartość bioreaktora mieszano mieszadłem magnetycznym. Temperatura w bioreaktorze podczas badań wynosiła  $17 \div 18^\circ\text{C}$ . W celu zapewnienia odpowiedniej zawartości osadu czynnego w bioreaktorze, recyrkulowano do niego osad z osadnika wtórnego w ilości  $100 \div 150\%$  dopływających ścieków.

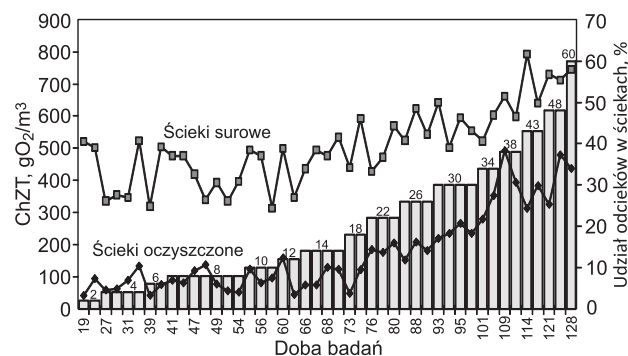
Skuteczność oczyszczania ścieków i właściwości osadu czynnego przeanalizowano na podstawie pomiaru następujących wskaźników i parametrów:

- ChZT metodą dwuchromianową [11],
- aktywność oddechowa osadu czynnego za pomocą sondy tlenowej,
- indeks osadu czynnego w cylindrach miarowych o pojemności  $1 \text{ dm}^3$ ,
- średnia wielkość kłaczków metodą mikroskopową [12] (osad czynny pobierano pipetą o szerokim otworze w celu zapobiegania deformacji kłaczków (każdorazowo mierzono 50 kłaczków); podczas rutynowej kontroli osadu czynnego zawsze wykonywano 4 preparaty, a obserwacje prowadzono w 28 polach widzenia),
- współczynnik kształtu kłaczków (średni stosunek długości do szerokości) metodą mikroskopową [12],
- powierzchnia właściwa osadu czynnego metodą adsorpcji barwnikowej za pomocą barwnika Lissamine Scarlet 4R (C.I. 16255) [13–15].

Przeprowadzono także rutynowe obserwacje mikroskopowe w celu analizy zmian biocenozy osadu czynnego.

### Skuteczność oczyszczania ścieków

Wraz ze wzrostem udziału odcieków w mieszaninie ścieków surowych jej ChZT zwiększała się w zakresie od  $300 \text{ gO}_2/\text{m}^3$  do  $750 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ , przy czym równocześnie wartość ta rosła sukcesywnie w ściekach oczyszczonych (rys. 1). Wzrost wartości ChZT w ściekach oczyszczonych nie był liniowy, jednak obserwowano ich wyraźną tendencję wzrostową wraz ze zwiększaniem udziału odcieków w mieszaninie. Przy udziale odcieków w przedziale  $2 \div 18\%$  wartości ChZT ścieków oczyszczonych kształtowały się



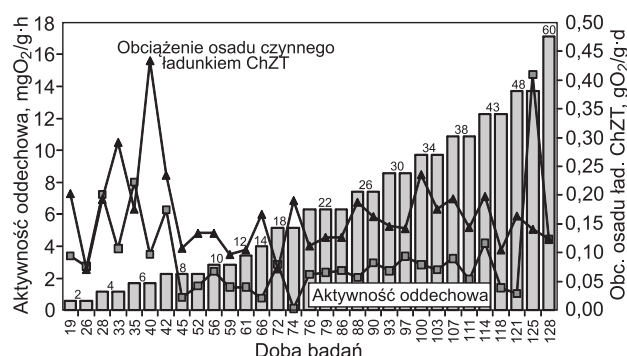
Rys. 1. Zależność ChZT ścieków od udziału odcieków składowiskowych w ściekach miejskich

Fig. 1. COD of the sewage related to the proportion of landfill leachate in the municipal sewage

w zakresie od  $41,2 \text{ gO}_2/\text{m}^3$  do  $130 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ . Zwiększenie udziału odcieków w ściekach powyżej  $18\%$  spowodowało niemal stały wzrost ChZT ścieków oczyszczonych od  $50 \text{ gO}_2/\text{m}^3$  do  $580 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ . Pod koniec badań przy  $60\%$  udziale odcieków, skuteczność oczyszczania praktycznie zmniejszyła się do zera. Gwałtowny spadek skuteczności oczyszczania ścieków przy  $18\%$  i wyższym udziale odcieków w mieszaninie ze ściekami komunalnymi świadczył o przekroczeniu granicznej ilości trudno biodegradowalnych substratów pierwotnie zawartych w odciekach, do których osad czynny nie mógł się zaadaptować. Dlatego za graniczny (dopuszczalny) udział objętościowy odcieków należy w tym przypadku przyjąć  $18\%$ .

### Aktywność oddechowa osadu czynnego

Wpływ odcieków ze starego składowiska odpadów komunalnych na osad czynny oceniono między innymi na podstawie pomiaru aktywności oddechowej mikroorganizmów. Na początku badań, przy niewielkim udziale odcieków w ściekach ( $2 \div 8\%$ ), wartość tego parametru wahała się w zakresie  $4 \div 8 \text{ mgO}_2/\text{g}\cdot\text{h}$  (rys. 2). Większe wartości zaobserwowano od razu po zwiększaniu ilości odcieków, co wiązało się z większym ładunkiem związków organicznych. Osad czynny w tych warunkach reagował wzmocnionym poborem tlenu w celu rozłożenia większej ilości doprowadzonego substratu. Po początkowej wzmoczonej aktywności oddechowej jej wartość zmniejszała się sukcesywnie do około  $4 \text{ mgO}_2/\text{g}\cdot\text{h}$  wraz z wydłużeniem czasu dawkowania odcieków. Począwszy od udziału  $8\%$  (i powyżej) odcieków w ściekach doprowadzanych do bioreaktora, aktywność oddechowa nie przekroczyła aż do końca badań wartości  $3,5 \text{ mgO}_2/\text{g}\cdot\text{h}$ , a najczęściej wynosiła około  $2 \text{ mgO}_2/\text{g}\cdot\text{h}$ . Mogło to być spowodowane negatywnym wpływem zanieczyszczeń zawartych w odciekach na metabolizm mikroorganizmów osadu czynnego, co przejawiało się zmniejszeniem szybkości poboru tlenu.



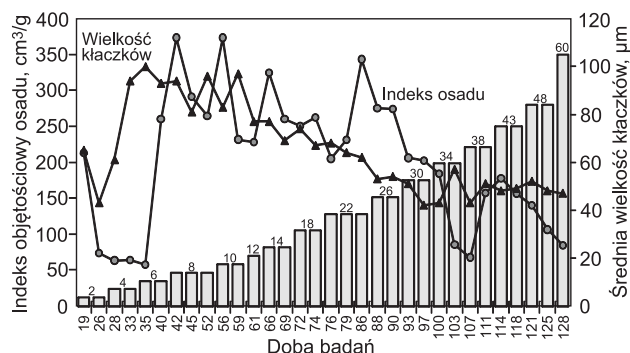
Rys. 2. Zależność aktywności oddechowej i obciążenia osadu czynnego ładunkiem ChZT od udziału odcieków składowiskowych w ściekach miejskich

Fig. 2. Respiration activity and COD loading of the activated sludge related to the proportion of landfill leachate in the municipal sewage

W przedziałach udziału odcieków  $8 \div 12\%$  i  $22 \div 43\%$  wraz ze wzrostem obciążenia osadu czynnego ładunkiem ChZT zwiększała się również wartość aktywności oddechowej mikroorganizmów (rys. 2), zatem zwiększanie ładunku zanieczyszczeń organicznych w ściekach zasilających układ przyczyniło się do wzmoczonego poboru tlenu przez osad na skutek bardziej intensywnego metabolizmu mikroorganizmów.

## Właściwości sedymentacyjne osadu czynnego

Na początku badań, przy udziale odcieków wynoszącym 2% (rys. 3), osad czynny charakteryzował się dużą wartością indeksu objętościowego ( $200 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), która gwałtownie zmalała do około  $65 \text{ cm}^3/\text{g}$  przy udziale odcieków w ilości 4÷6%. Niska wartość indeksu osadu czynnego jest pożądana ze względów eksploatacyjnych biologicznej oczyszczalni ścieków. Jednakże w przypadku omawianych badań wraz ze spadkiem wartości indeksu osadu odnotowano także przejściowy rozpad kłaczków osadu czynnego. Kłaczkki stały się bardzo małe, ich część szybko i gwałtownie opadała na dno leja Imhoffa, a część pozostawała w stanie zawieszonym w całej objętości cieczy nadosadowej. Skutkiem tego zjawiska może być znaczne pogorszenie jakości ścieków oczyszczonych w wyniku nadmiernego odpływu drobnych zawiesin z osadnika wtórnego. Jednak przy dalszym zwiększeniu udziału odcieków do 6÷8% odnotowano bardzo szybki wzrost wartości indeksu osadu do  $260 \text{ cm}^3/\text{g}$ , a następnie do  $300 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Wysoka wartość tego wskaźnika w zakresie  $200\div 370 \text{ cm}^3/\text{g}$  utrzymywała się aż do 97. doby badań. W tym czasie udział odcieków w ściekach zasilających układ badawczy wynosił już 30%. Jednak od 86. doby badań (udział odcieków 22%) zaobserwowano tendencję do stopniowego zmniejszania wartości indeksu osadu, która trwała do 107. doby. Zastosowanie w tym czasie 38% udziału odcieków chwilowo odwróciło tę tendencję (wartość indeksu osadu wzrosła z  $67 \text{ cm}^3/\text{g}$  do  $177 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), jednak po zwiększeniu udziału odcieków do 43% wartość tego wskaźnika ponownie sukcesywnie obniżała się aż do  $47 \text{ cm}^3/\text{g}$  w 132. dobie badań (udział odcieków 60%).



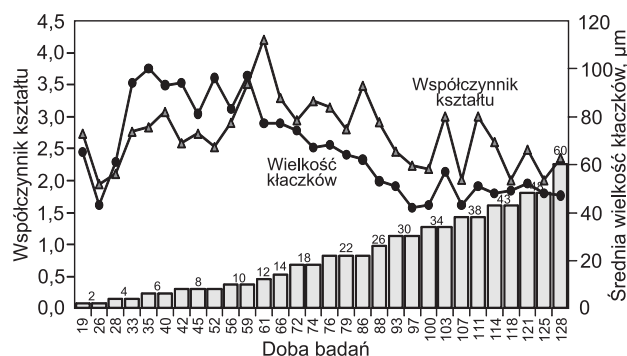
Rys. 3. Zależność indeksu osadu czynnego i średniej wielkości kłaczków od udziału odcieków składowiskowych w ściekach miejskich  
Fig. 3. Sludge volume index and average floc size of the activated sludge related to the proportion of landfill leachate in the municipal sewage

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w początkowym czasie dodawania mieszaniny odcieków ze ściekami komunalnymi nastąpił przejściowy rozpad kłaczków osadu czynnego pod wpływem odcieków. Osad zawierał częściowo kłaczkki szybko sedymentujące, a częściowo kłaczkki lekkie, zawieszane w cieczy nadosadowej. Był to początek zjawiska bardzo silnego rozdrobnienia kłaczków (pinpoint floc) [12, 16]. Jednakże po czasie adaptacji do zanieczyszczeń zawartych w odciekach osad czynny zaczął wykazywać tendencję do odbudowy prawidłowej struktury, a następnie pęcznienia, w wyniku czego wartość indeksu osadu przez zdecydowanie większą część badań wynosiła powyżej  $200 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Dopiero po przekroczeniu 30% udziału odcieków indeks osadu zaczął przyjmować wartości poniżej  $200 \text{ cm}^3/\text{g}$ .

Przeprowadzone badania uwidocznily ponadto, że w pewnych zakresach udziału odcieków w mieszaninie, średnia wielkość kłaczków oraz indeks osadu czynnego wykazywały te same tendencje kierunku zmian wartości (rys. 3). W początkowym czasie badań, przy 2% udziale odcieków w mieszaninie zasilającej, odnotowano gwałtowne zmniejszenie średniej wielkości kłaczków, co z kolei wpłynęło na szybki spadek wartości indeksu osadu. W kolejnych dobach badań zaobserwowano znaczny wzrost wielkości kłaczków, jednakże zwiększenie indeksu osadu odnotowano z kilkudobowym opóźnieniem. W dalszej części badań stwierdzono, że oba parametry wykazywały tę samą tendencję spadkową lub wzrostową, tzn. gdy średnia wielkość kłaczków wykazywała tendencję malejącą, taką samą tendencją charakteryzowała się również wartość indeksu osadu czynnego. Obserwowano jednak krótkie przedziały czasu, w których wzrostowi wielkości kłaczków towarzyszył spadek wartości indeksu osadu. Jednakże można stwierdzić, że przez większą część trwania badań większe wartości indeksu odnotowywano przy większych kłaczkach osadu czynnego.

## Charakterystyka kłaczków osadu czynnego

W początkowym czasie badań, przy udziale odcieków wynoszącym 2%, średnia wielkość kłaczków była mała i zawierała się w zakresie  $40\div 60 \mu\text{m}$  (rys. 4). Prawdopodobnie było to wywołane negatywną reakcją mikroorganizmów na substraty zawarte w odciekach, z którymi dotychczas organizmy osadu czynnego nie miały kontaktu. Po negatywnej reakcji osadu zaobserwowano ponowny wzrost wielkości kłaczków do około  $100 \mu\text{m}$ , utrzymującej się nawet wtedy, gdy odcieki stanowiły 10% udziału w mieszaninie ze ściekami miejskimi. Powyżej tej zawartości odcieków odnotowano stopniowy spadek wielkości kłaczków do około  $40 \mu\text{m}$  przy 30% i wyższym udziale odcieków. Przyczyną tak dużego rozdrobnienia kłaczków było prawdopodobnie zakłócenie procesu wydzielania przez mikroorganizmy pozakomórkowych biopolimerów, przyczyniających się do flokulacji małych cząstek osadu w większe skupiska. Zmniejszenie ilości wydzielanych biopolimerów mogło być skutkiem wzrostu zawartości szkodliwych substratów przy większym udziale odcieków w ściekach zasilających układ badawczy.

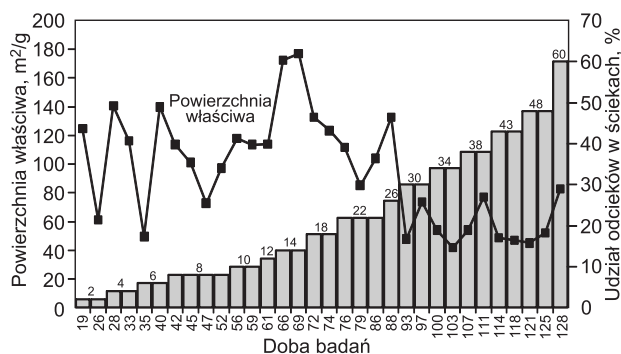


Rys. 4. Zależność współczynnika kształtu i średniej wielkości kłaczków osadu czynnego od udziału odcieków składowiskowych w ściekach miejskich  
Fig. 4. Shape factor and average floc size of the activated sludge related to the proportion of landfill leachate in the municipal sewage



Wpływ odcieków na osad czynny oceniano także na podstawie pomiaru współczynnika kształtu, który określa, jakie formy kłaczków przeważają w osadzie czynnym. Dobre właściwości sedymentacyjne wykazuje osad mający kłaczkami o kształcie owalnym, romboidalnym oraz trapezowym, w obecności których wartość tego wskaźnika jest zbliżona do jedności. Formy bardziej wydłużone o dużej wartości współczynnika kształtu charakteryzują się gorszymi właściwościami sedymentacyjnymi i dlatego są mniej pożądane. W prowadzonych badaniach, przy zastosowaniu najmniejszego udziału odcieków (2%), wartość współczynnika kształtu kłaczków osadu czynnego wynosiła 1,94 (rys. 4). W tym czasie odnotowano najmniejsze wartości indeksu osadu czynnego. Należy jednak zauważyć, że wówczas również miało miejsce największe rozdrobnienie osadu i pojawienie się kłaczków punktowych o kształcie owalnym. Skutkiem tego, pomimo małych wartości indeksu osadu i współczynnika kształtu kłaczków, w cieczy nadosadowej znajdowało się dużo zawieszonych drobnych kłaczków osadu, pogarszających jakość ścieków oczyszczonych odpływających z osadnika. W zakresie udziału odcieków 4÷26% wartość współczynnika kształtu zawierała się w przedziale 2,5÷3,5. W tym czasie badań dominowały w osadzie czynnym formy o kształtach podłużnych, przyczyniające się do dużych wartości indeksu osadu czynnego. Należy jednak podkreślić, że pomimo słabych właściwości sedymentacyjnych ciecz nadosadowa charakteryzowała się dość dużą klarownością. Powyżej 30% udziału odcieków wartość współczynnika kształtu kłaczków zawierała się pomiędzy 2 i 3 (śr. 2,4), przy czym przez większą część badań współczynnik ten osiągał stosunkowo duże wartości. Świadczy to o istotnym wpływie dodawanych odcieków na kłaczkami osadu czynnego, które przez większą część badań miały kształty znacznie odbiegające od owalu czy kwadratu, były natomiast podłużne i nieregularne. Na podstawie pomiaru średniej wielkości kłaczków i współczynnika ich kształtu zaobserwowano dość duże podobieństwo w zmianach wartości tych parametrów w praktycznie całym zakresie badań (rys. 4). Wraz ze spadkiem wielkości kłaczków tendencję malejącą wykazywał również współczynnik kształtu.

Jakość osadu czynnego oceniono również na podstawie zmian jego powierzchni właściwej. Parametr ten związany jest z transportem zanieczyszczeń oraz tlenu do wnętrza kłaczków, a także możliwością wydalania metabolitów na zewnątrz. W całym zakresie stosowanego udziału odcieków powierzchnia właściwa osadu zawierała się w zakresie 41,8÷177,1 m<sup>2</sup>/g (rys. 5). Większe wartości odnotowano



Rys. 5. Zależność powierzchni właściwej osadu czynnego od udziału odcieków składawiskowych w ściekach miejskich  
Fig. 5. Specific surface of the activated sludge related to the proportion of landfill leachate in the municipal sewage

przy udziale odcieków w zakresie 2÷26%, natomiast dalsze zwiększanie ilości odcieków w ściekach zasilających bioreaktor przyczyniło się do gwałtownego zmniejszenia powierzchni właściwej osadu czynnego. Przyczyną tego zjawiska mogło być występowanie w odciekach substancji toksycznych dla mikroorganizmów osadu czynnego, które powyżej pewnej granicznej wartości wpływały negatywnie na strukturę kłaczków, co przejawiało się zmniejszeniem powierzchni właściwej osadu czynnego.

## Zmiany w biocenozie osadu czynnego

Mikroskopowa obserwacja osadu czynnego wykazała znaczny wpływ odcieków, a tym samym zawartych w nich zanieczyszczeń, na zróżnicowanie występujących w nim mikroorganizmów. W początkowym etapie badań zaobserwowano bardzo negatywną reakcję mikroorganizmów osadu na dodawanie odcieków składawiskowych do ścieków zasilających układ. Po zastosowaniu 2÷4% udziału odcieków nastąpił gwałtowny spadek liczby bakterii nitkowatych, aż do ich całkowitego zaniku. Przyczyniło się to do rozpadu kłaczków osadu czynnego, w wyniku czego zaczęły dominować kłaczkami bardzo małe (punktowe) o dużej spoistości. Przy 2% udziale odcieków odnotowano również całkowity zanik orzęsków. Pod koniec etapu, w którym odcieki stanowiły 4%, ponownie rozwinęły się bakterie nitkowate, a kłaczkami zaczęły mieć bardziej rozłożyste kształty, luźniejszą strukturę i większe rozmiary. W tym samym czasie (udział odcieków 4÷6%) biocenoza zdominowały orzęski osiadłe, natomiast nie stwierdzono obecności orzęsków pełzających, a orzęski wolnożyjące występowały w małych ilościach. Dalszy wzrost udziału odcieków przyczynił się do sukcesywnego rozwoju bakterii nitkowatych, których szczególnie dużą liczbę zaobserwowano przy 8% udziale odcieków. W tym czasie kłaczkami charakteryzowały się nieregularnymi kształtami i luźną strukturą. Spośród mikroorganizmów należących do grupy orzęsków najczęściej obserwowano gatunków wolnożyjących i osiadłych występujących w średniej lub dużej liczbie, natomiast orzęsków pełzających było mało. Do końca trwania badań, czyli aż do zastosowania udziału odcieków 60%, bakterie nitkowate występowały w średniej lub dużej liczbie i zwykle były wbudowane w kłaczkami osadu. Czasowy wzrost ich liczebności zaobserwowano przy 18% i 30% udziale odcieków. Wówczas wśród kłaczków osadu czynnego zdarzały się duże skupiska bakterii nitkowatych. Liczebność orzęsków wolnożyjących aż do końca badań utrzymywała się na w miarę stałym poziomie i przez większość czasu występowały one w umiarkowanej liczbie. Liczebność orzęsków osiadłych do końca badań była duża lub średnia. Zaobserwowano jednak, że wraz ze wzrostem udziału odcieków wśród orzęsków zaczęły dominować gatunki występujące w koloniach, a nie pojedyncze organizmy. Bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia wprowadzane wraz z odciekami okazały się orzęski pełzające po kłaczkach. Przy 26% udziale odcieków ich liczebność gwałtownie zmalała, a przy dalszym zwiększaniu ilości odcieków zaobserwowano całkowite wymarcie tej grupy organizmów. Do końca badań nie odnotowano ponownego rozwoju orzęsków pełzających.

Powszechnie występującym składnikiem biocenozy osadu czynnego są także wrotki. Przy początkowym udziale odcieków w ilości 2÷4% liczebność wrotków była duża,

przy czym wraz ze wzrostem udziału odcieków ich liczba stopniowo malała, a przy 8% udziale nastąpił chwilowy zanik ich występowania. Jednak już przy 10% udziale odcieków ponownie odnotowano rozwój tych mikroorganizmów, przy czym ich liczebność kształtowała się na niskim lub średnim poziomie, aż do końca badań. Jedynie przy 43% udziale odcieków zaobserwowano kolejny czasowy zanik występowania wrotków, które ponownie rozwinęły się przy 48% zawartości odcieków. Obserwowane zmiany populacji orzęsków, wrotków i bakterii nitkowatych świadczą o procesie ciągłej adaptacji biocenozy osadu czynnego do zmieniających się warunków na skutek wprowadzania coraz większych ładunków zanieczyszczeń zawartych w odciekach składowiskowych

## Podsumowanie

Badania wykazały, że oczyszczanie mieszaniny ścieków miejskich i odcieków ze starego składowiska odpadów metodą osadu czynnego ze skutecznością 70÷92% (ChZT) było możliwe przy obciążeniowym udziale odcieków w mieszaninie do 18%. Powyżej tej wartości skuteczność oczyszczania obniżała się do 60%, a okresowo nawet zera, przy czym wartości ChZT ścieków oczyszczonych były większe od 125 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Ponadto stwierdzono, że odcieki obecne w mieszaninie ze ściekami komunalnymi wyraźnie pogarszały właściwości sedymentacyjne osadu czynnego. Przez większą część badań wartość indeksu osadu czynnego kształtowała się w przedziale 150÷200 cm<sup>3</sup>/g. Badano również wielkość kłaczków osadu czynnego i stwierdzono, że przy udziale odcieków w zakresie 2÷10% średnia wielkość kłaczków wynosiła około 100 μm. Większy udział odcieków w ściekach przyczynił się do stopniowego zmniejszenia się średniej wielkości kłaczków, która powyżej 30% udziału odcieków wynosiła około 40 μm. Wzrost zawartości odcieków w ściekach zasilających układ badawczy powyżej 26% spowodował także zmniejszenie powierzchni właściwej osadu czynnego, czego przyczyną mogło być występowanie w odciekach substancji toksycznych dla mikroorganizmów osadu czynnego, które powyżej tej granicznej wartości wpływały negatywnie na strukturę kłaczków, a w efekcie na powierzchnię właściwą osadu.

Zawartość odcieków w ściekach miała również istotny wpływ na skład biocenozy osadu czynnego. Pierwszą negatywną reakcją był gwałtowny spadek liczby bakterii nitkowatych, jednak skuteczna adaptacja osadu do zmieniających się warunków środowiskowych spowodowała ponowny rozwój tych bakterii, których liczebność, nawet przy zwiększonym udziale odcieków, do końca badań była średnia lub nawet duża. Bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia obecne w odciekach okazały się orzęski pełzające, które powyżej udziału odcieków 26% uległy wymarciu.

Badania wykazały, że maksymalny dopuszczalny udział odcieków w ściekach zasilających reaktor osadu czynnego wynosił 18%. Ta ilość odcieków nie spowodowała znacznego pogorszenia charakterystyki osadu czynnego, a jednocześnie pozwalała na zmniejszenie ChZT ścieków do poniżej 125 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Graniczna wartość udziału odcieków składowiskowych 18% wydaje się stosunkowo duża, przy czym w praktyce nie występuje tak znaczny udział odcieków w ściekach komunalnych dopływających do oczyszczalni ścieków. Jakkolwiek czas badań był długi (prawie 4 miesiące), to jednak zmiany udziału odcieków

w ściekach zasilających układ były stosunkowo łagodne i równomierne. W sytuacji, kiedy zmiany te byłyby bardziej dynamiczne tolerancja osadu czynnego mogłaby być znacznie mniejsza. Ponadto prezentowane badania nie dały jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, jak przebiegałaby eksploatacja układu badawczego przy mniejszym udziale odcieków w dłuższym czasie. W trakcie badań nie analizowano także przebiegu procesu denitryfikacji. Nitryfikacja dużych ilości azotu amonowego zawartego w odciekach, a tym samym powstawanie znacznej ilości azotanów, może powodować problemy z uzyskaniem skutecznej denitryfikacji i konieczność stosowania zewnętrznego źródła węgla, co zwiększy koszt eksploatacji oczyszczalni. Problemy te wymagają przeprowadzenia szczegółowych badań.

## LITERATURA

1. M. ŻYGADŁO: Gospodarka odpadami komunalnymi. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2002.
2. J.A. OLESZKIEWICZ: Eksploatacja składowiska odpadów: Poradnik decydenta. LEM-PROJEKT, Kraków 1999.
3. C. ROSIK-DULEWSKA: Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
4. J. SURMACZ-GÓRSKA: Usuwanie zanieczyszczeń organicznych oraz azotu z odcieków powstających w wysypiskach odpadów komunalnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Inżynieria Środowiska, nr 44, Gliwice 2000.
5. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. O odpadach (Dz. U. nr 62, poz. 628).
6. Ustawa z 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz. U. nr 115, poz. 1229).
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. nr 137, poz. 984).
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. nr 27, poz. 169).
9. K. GRABAS: Usuwanie jonów metali ciężkich ze ścieków przemysłowych i wód nadosadowych ze stawu „Kowary” (powiat jeleniogórski). *Ochrona Środowiska* 2009, vol. 31, nr 2, ss. 49–54.
10. Rozporządzenie Ministra Budownictwa z 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz. U. nr 136, poz. 964).
11. W. HERMANOWICZ: Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1999.
12. K. BARBUSIŃSKI, H. KOŚCIELNIAK: Influence of substrate loading intensity on floc size in activated sludge. *Water Research* 1995, Vol. 29, pp. 1703–1710.
13. P.G. SMITH, P. COACKLEY: Method for determining specific surface area of activated sludge by dye adsorption. *Water Research* 1983, Vol. 17, pp. 595–598.
14. K. BARBUSIŃSKI, H. KOŚCIELNIAK: Zmiany właściwości osadu czynnego podczas degradacji n-butanolu i izobutanolu. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2007, t. 10, nr 3, ss. 205–216.
15. K. BARBUSIŃSKI, H. KOŚCIELNIAK: Oznaczanie powierzchni właściwej osadu czynnego. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2009, t. 12, nr 2, ss. 119–132.
16. W.O. PIPES: Bulking, deflocculation, and pinpoint floc. *Journal Water Pollution Control Federation* 1979, Vol. 51, pp. 62–70.

**Barbusinski, K., Pieczykolan, B., Koscielniak, H., Amalio-Kosel, M. Effect of Landfill Leachate on the Efficiency of Municipal Sewage Treatment and on the Properties of Activated Sludge. *Ochrona Srodowiska* 2010, Vol. 32, No. 3, pp. 33–38.**

**Abstract:** Leachate samples were collected at an out-of-use municipal landfill, and sewage samples were taken after passage of the wastewater stream through the mechanical treatment unit. The volume percent of landfill leachate in mixture with municipal sewage varied from 2 to 60%. The extent of reduction in the COD of the sewage was adopted as a measure of the treatment efficiency achieved, whereas the changes in the properties of the activated sludge were expressed by the measured values of the following parameters: respiration activity, sludge volume index, average size and shape factor of the flocs, and specific surface of the sludge. The study has substantiated the marked influence of landfill leachates both on the efficiency of sewage treatment and the characteristics of activated sludge. With a leachate proportion of up to 18% in the mixture, the extent of COD reduction ranged between 70 and 92%. Further increase in the proportion of the leachate reduced the efficiency of the sewage treatment process to 60%, and periodically even to 0%. The experiments have also revealed that the landfill leachates sharply deteriora-

ted the settleability of the sludge. The sludge volume index varied predominantly from 150 to 200 cm<sup>3</sup>/g, which was attributable to the growth of filamentous bacteria. When the proportion of leachate in the sewage was in the range of between 2% and 10%, the size of the sludge flocs averaged 100 μm. Further increase in the volume percent of the leachate accounted for a gradual reduction in the floc size, which reached approx. 40 μm when the proportion of leachate in the mixture exceeded 30%. With a leachate proportion higher than 26%, a decrease was also observed in the specific surface of the activated sludge, which failed to exceed 80 m<sup>2</sup>/g. The landfill leachate was also found to produce significant changes in the populations of ciliates, rotifers and filamentous bacteria in the activated sludge. Of these, crawling ciliates were found to be the least immune to the pollutants occurring in the leachates, and were killed when the leachate proportion exceeded 26%. The study has demonstrated that the limit value for the volume percent of leachate in the mixture feeding the activated sludge reactor was 18%, which did not markedly deteriorate the efficiency of sewage treatment or the properties of the activated sludge.

**Keywords:** Landfill leachate, activated sludge, sludge volume index, specific surface, average floc size, biocenosis.