

ALEKSANDRA SOWINSKA, MAŁGORZATA MAKOWSKA

Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

WYKORZYSTANIE REAKTORA PORCJOWEGO (SBR) W INDYWIDUALNYM SYSTEMIE OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

EXPLOITATION OF SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)
IN INDIVIDUAL SYSTEM OF WASTEWATER TREATMENT

Streszczenie. Jakość ścieków oczyszczonych w małych oczyszczalniach ścieków w znaczący sposób wpływa na stan środowiska naturalnego. W pracy omówiono wpływ parametrów technologicznych na efekt usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w małych oczyszczalniach ścieków typu SBR. Analizie podlegały następujące wskaźniki: biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT_5), chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), azot ogólny, azot amonowy, azot azotanowy, zawiesiny ogólne. W trakcie badań jeden z reaktorów został przekształcony w reaktor hybrydowy. Pomimo to praca reaktora była niestabilna ze względu na niekontrolowane stosowanie biopreparatu. Ścieki odprowadzane do gruntu z badanych małych oczyszczalni ścieków spełniają wymagania zawarte w ROZPORZĄDZENIU... (2006): redukcja zawiesin ogólnych – o co najmniej 50% i BZT_5 – 20%. Stwierdzono, że nie należy bezpodstawnie ingerować w działanie małych oczyszczalni SBR, lecz regularnie kontrolować ich pracę.

Słowa kluczowe: sekwencyjny reaktor biologiczny, reaktor hybrydowy, wskaźniki zanieczyszczeń, osad czynny, złożo ruchome

Wstęp

Mała biologiczna oczyszczalnia ścieków to urządzenie lub zespół urządzeń, w których w drodze procesów mechanicznych, biologicznych i chemicznych następuje usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków – przed ich wprowadzeniem do odbiornika – do wielkości dopuszczalnych, określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (ROZPORZĄDZENIE... 2006). Ścieki pochodzące z własnego gospodarstwa

domowego mogą być wprowadzane do ziemi lub urządzeń wodnych w granicach gruntu stanowiącego własność wprowadzającego, jeżeli spełniają określone wymagania:

- odprowadzenie do gruntu: redukcja BZT₅ ścieków dopływających wynosi co najmniej 20%, redukcja zawiesiny ogólnej wynosi co najmniej 50%,
- odprowadzenie do urządzeń wodnych: największa dopuszczalna wartość wskaźników zanieczyszczeń nie przekracza 25 mg O₂ w 1 dm³ (lub minimalny poziom redukcji wynosi 70-90%) dla BZT₅, 125 mg O₂ w 1 dm³ (75%) dla ChZT, 35 mg/dm³ (90%) dla zawiesiny ogólnej.

W związku z powyższym wielu inwestorów musi dokonać wyboru technologii oczyszczania ścieków. W ostatnim czasie producenci przydomowych oczyszczalni ścieków proponują swoim klientom szeroki zakres różnego typu oczyszczalni. Coraz częściej spotyka się obiekty pracujące w systemie SBR. Niewątpliwą zaletą sprawnie działających oczyszczalni tego typu jest wysoka jakość ścieków oczyszczonych (możliwość odprowadzenia do gruntu lub cieku wodnego) i małe zapotrzebowanie na powierzchnię. Rozwiązaniem dla nowo powstających lub modernizowanych obiektów mogą być oczyszczalnie hybrydowe. Połączenie technologii osadu czynnego ze złożem ruchomym umożliwia oczyszczanie ścieków zarówno przez biomasę zawieszoną, jak i utwardzoną na nośnikach swobodnie poruszających się w oczyszczanym medium, charakteryzujących się dużą powierzchnią właściwą oraz gęstością zbliżoną do gęstości cieczy (MAKOWSKA 2010). W przypadku obiektów nie spełniających wymagań co do jakości ścieków oczyszczonych ze względu na zbyt duży ładunek dopływających zanieczyszczeń, wprowadzenie odpowiedniej ilości nośników błony biologicznej zwiększa sprawność działania oczyszczalni i umożliwia osiągnięcie wartości wskaźników zanieczyszczeń nie większych, niż zawarte w ROZPORZĄDZENIU... (2006) (ŻUBROWSKA-SUDOŁ 2004).

W oczyszczalniach indywidualnych zwykle nie ma problemów z uzyskaniem odpowiednich parametrów ścieków oczyszczonych odprowadzanych do gruntu, gdyż wymagania w tym zakresie nie są zbyt rygorystyczne. Problem pojawia się wtedy, kiedy odbornikiem staje się urządzenie wodne. Jakość ścieków oczyszczonych musi wówczas spełniać wymagania stawiane oczyszczalniom dla równoważnej liczby mieszkańców (RLM) > 2000, a w szczególnych przypadkach musi zostać określona pod kątem zawartości azotu ogólnego, fosforu ogólnego oraz wartości ChZT (ROZPORZĄDZENIE... 2006).

Technologia złoża ruchomego wykorzystująca proces immobilizacji biomasy, czyli unieruchomienia mikroorganizmów na nośnikach w formie błony biologicznej, może wspomagać biologiczne usuwanie zanieczyszczeń. Ruch cieczy i kształtek jest wywołany urządzeniami napowietrzającymi (np. dyfuzorami) lub mechanicznymi mieszadłami. Na grubość warstwy błony biologicznej mają wpływ siły tnące, które występują podczas mieszania.

Wyróżnia się trzy warianty zastosowania złoża ruchomego:

- technologię „czystą” opierającą się na założeniu, że rozwój biomasy będzie przebiegał jedynie na nośnikach błony biologicznej,
- technologię zakładającą, że głównym zadaniem złoża ruchomego będzie wstępne podczyszczenie ścieków w celu odciążenia właściwych reaktorów z osadem czynnym,
- technologię hybrydową – jest to połączenie technologii osadu czynnego ze złożem ruchomym w celu polepszenia skuteczności oczyszczania ścieków w układach już istniejących (ŻUBROWSKA-SUDOŁ 2004).

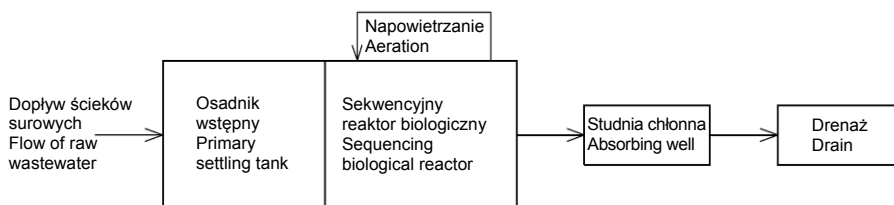
Zaletą tej technologii jest możliwość jej zastosowania zarówno w obiektach nowo powstałych, jak i w modernizowanych. Objętość wypełnienia jest dostosowana do potrzeb (poprawa efektywności oczyszczania, zwiększony ładunek zanieczyszczeń) i może być korygowana w czasie eksploatacji oczyszczalni (ŻUBROWSKA-SUDOŁ 2004).

Zastosowanie kształtek z utwardzoną błoną biologiczną wiąże się z koniecznością zabezpieczenia pomp. W tym celu stosuje się siatki z tworzywa sztucznego lub specjalnie zaprojektowane sita, których wielkość i rodzaj zależą od wymiarów kształtek (MAKOWSKA 2002). Innym sposobem zabezpieczenia kształtek przed wypływaniem jest montowanie sit na odpływie. Często są to prostokątne, pionowe sita oczkowe lub pionowe/poziome cylindryczne sita prętowe (ŻUBROWSKA-SUDOŁ 2004).

Celem pracy była analiza parametrów technologicznych reaktora porcjowego w wersji klasycznej i hybrydowej oraz ocena jego przydatności w przydomowych systemach oczyszczania ścieków.

Charakterystyka obiektów

W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w małych biologicznych oczyszczalniach ścieków typu SBR w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych w gminie Grodzisk Wielkopolski, przeznaczonych do oczyszczania ścieków bytowych z budynków jednorodzinnych (rys. 1).



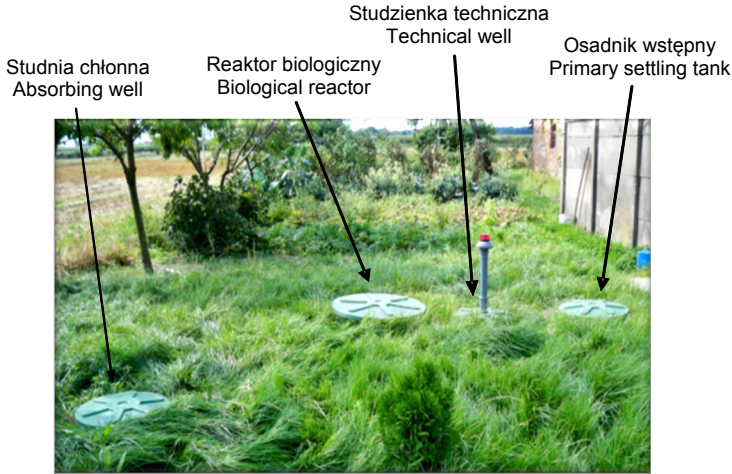
Rys. 1. Schemat oczyszczalni SBR ze studnią chłonną (DOKUMENTACJA...)

Fig. 1. Diagram of SBR wastewater treatment plant with an absorbing well (DOKUMENTACJA...)

System składa się z osadnika gnilnego (OG), reaktora biologicznego z napowietrzaniem naprzemiennym oraz studni chłonnej (rys. 1, 2).

Dopływ ścieków następuje grawitacyjnie. Ścieki oczyszczone są wypompowywane z reaktora SBR jeden raz na dobę, po fazie sedymentacji ustalonej na godz. 3.45 rano, i są odprowadzane do gruntu poprzez studnię chłonną. W przypadku przeciążenia hydraulicznego układu i wcześniejszego napełnienia reaktora pompa włącza się awaryjnie.

Biologiczne oczyszczanie ścieków w obu badanych obiektach jest oparte na metodzie niskoobciążonego osadu czynnego, przy czym oczyszczalnia w Rakoniewicach, ze względu na większe rzeczywiste obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń, została w czasie prowadzonych badań dodatkowo wypełniona złożem ruchomym, w wyniku czego powstał tzw. reaktor hybrydowy. Dane techniczne badanych obiektów zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 2. Mała oczyszczalnia SBR w Dakowach Mokrych
Fig. 2. Small wastewater treatment plant SBR in Dakowy Mokre

Tabela 1. Dane techniczne obiektów w Rakoniewiczach i Dakowach Mokrych
Table 1. Technical data of the systems in Rakoniewice and Dakowy Mokre

Lokalizacja obiektu Location of the system	Objętość OG Septic tank volume (m ³)	Objętość reaktora SBR SBR reactor volume (m ³)	Średni dopływ ścieków Average influent of sewage (m ³ /d)	Średni ładunek BZT ₅ na dopływie Average load of BOD ₅ in influent (g/d)	Liczba użytkowników Number of users	Złoże ruchome Moving bed
Rakoniewice	1,0	2,0	0,422	112,53	4	tak yes
Dakowy Mokre	1,0	2,0	0,270	81,30	5	nie no

Metodyka

Badania terenowe i laboratoryjne małych przydomowych oczyszczalni ścieków w Rakoniewiczach i Dakowach Mokrych prowadzono od lipca 2012 roku do czerwca 2013 roku. Wyniki wstępnych badań wykazały, że jakość ścieków oczyszczonych oraz osadu czynnego w obiektach nie jest zadowalająca. W celu zapewnienia porównywalnych warunków pracy reaktory biologiczne zaszczepiono osadem czynnym pobranym z komory tlenowej miejskiej oczyszczalni ścieków w Grodzisku Wielkopolskim, w ilości około 2 m³. Właściwy etap badań rozpoczęto w sierpniu 2012 roku. Średnio raz w miesiącu pobierano próbki ścieków na odpływie z osadnika gnilnego (ścieki surowe)

oraz na wylocie z reaktora SBR (ścieki oczyszczone). Jednocześnie przeprowadzano próby sedimentacyjne w cylindrze o pojemności 1 l.

W laboratorium analitycznym Katedry Inżynierii Wodnej i Sanitarnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w próbkach ścieków oznaczono: BZT₅ (metodą respirometryczną), ChZT, azot amonowy i azotanowy (metodą spektrofotometryczną), zawiesinę ogólną (metodą wagową bezpośrednią), azot ogólny Kjeldahla (TKN – metodą destylacji). Na podstawie otrzymanych wyników obliczono: skuteczność usuwania zanieczyszczeń, ładunek zanieczyszczeń organicznych oraz obciążenie biomasy ładunkiem organicznym. Wyliczono wartości średnie i odchylenia standardowe. Wyznaczono zależności między ładunkiem a skutecznością usuwania zanieczyszczeń.

Po czterech miesiącach badań w bioreaktorze w Rakoniewicach umieszczono złożo ruchome. Obiekt ten wybrano ze względu na większe średnie obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń i większą nierównomierność dopływu ścieków. Zastosowano samodzielnie wykonane cylindryczne kształtki z PE, o wymiarach 13 × 13 mm (rys. 3).



Rys. 3. Cylindryczne kształtki z tworzywa sztucznego
Fig. 3. Cylindrical plastic carriers

Liczbę kształtek obliczono na podstawie obciążenia powierzchni wypełnienia reaktora ładunkiem organicznym. Wykorzystano zależność (MAKOWSKA 2002):

$$N = L_z / (A_k \cdot q_s) \quad (1)$$

gdzie:

- L_z – ładunek zanieczyszczeń (g/d),
- A_k – pole powierzchni jednej kształtki (m²),
- q_s – obciążenie powierzchni kształtki ładunkiem zanieczyszczeń organicznych (g BZT₅ na 1 m²/d).

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych we wrześniu przyjęto ładunek zanieczyszczeń równy 144 g BZT₅ na 1 d, obciążenie $q_s = 5$ g BZT₅ na 1 m²/d, przy rzeczywistej powierzchni jednej kształtki $A_k = 0,0021$ m². Wyznaczona liczba kształtek wynosiła 13 715. Wynik ten zweryfikowano poprzez obliczenie liczby kształtek na podstawie obciążenia biomasy ładunkiem organicznym zgodnie z zależnością (MAKOWSKA 2010):

$$N = L_z / (A_k \cdot A_b \cdot G_b) \quad (2)$$

gdzie:

A_b – obciążenie biomasy ładunkiem organicznym (g/g_{s.m.}/d),
 G_b – gęstość powierzchniowa błony biologicznej (g_{s.m.}/m²).

Po przyjęciu L_z i A_k jak poprzednio oraz $A_b = 0,2$ g/g_{s.m.} i $G_b = 250$ g_{s.m.}/m² – według literatury (MELO 2005) – otrzymano 13 715 kształtek. Obliczoną uprzednio liczbę kształtek uznano więc za prawidłową i zastosowano w dalszych badaniach.

Wyniki

Wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych w przydomowych oczyszczalniach ścieków w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych przedstawiono graficznie na rysunkach 4-8.

Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen

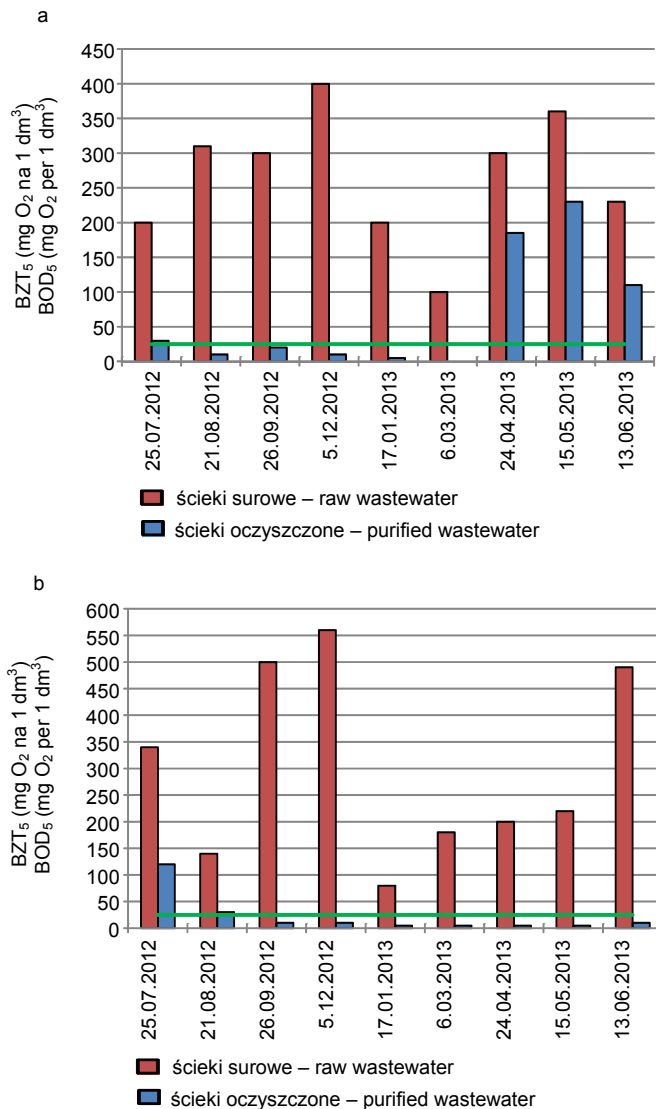
Oczyszczalnia w Rakoniewicach spełniała wymagania zawarte w ROZPORZĄDZENIU... (2006) regulujące wartość wskaźnika BZT₅ w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do gruntu (rys. 4a). Badania przeprowadzone od kwietnia do czerwca wskazują, że wartość wskaźnika BZT₅ przekracza wymagania stawiane ściekom oczyszczonym odprowadzanym do urządzeń wodnych (pozioma linia na wykresie).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że odbiornikiem ścieków oczyszczonych z oczyszczalni w Dakowach Mokrych może być zarówno grunt, jak i urządzenie wodne. Od września 2012 roku wartość wskaźnika BZT₅ w ściekach oczyszczonych nie przekraczała 25 mg O₂ w 1 dm³ (rys. 4b).

Chemiczne zapotrzebowanie na tlen

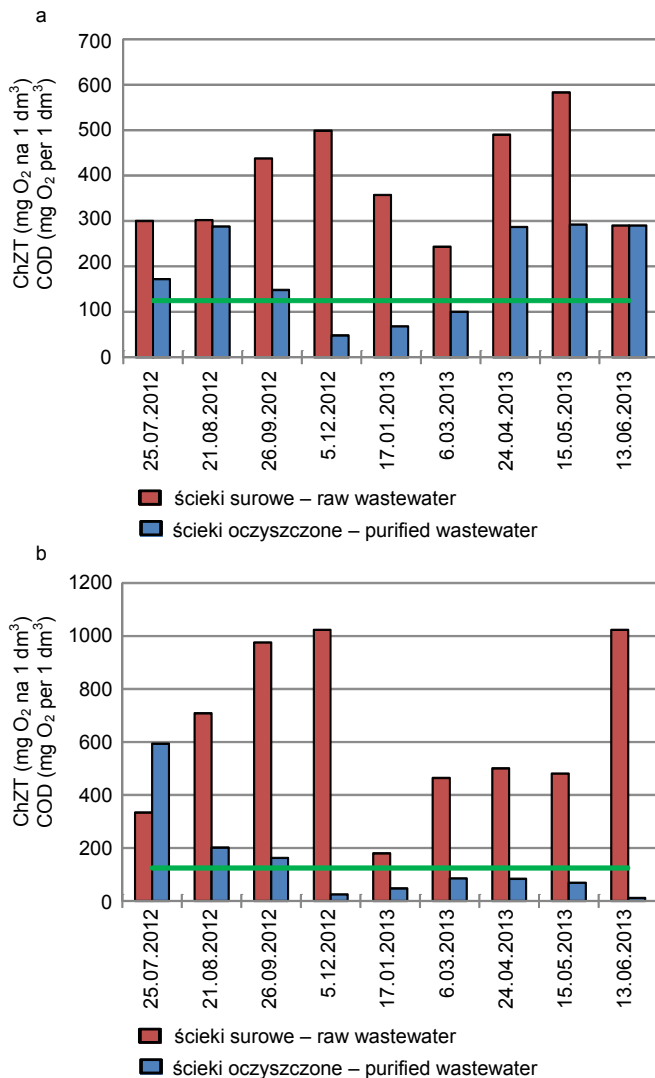
Wartości ChZT w ściekach z małych oczyszczalni w Rakoniewicach i w Dakowach Mokrych przedstawiono na rysunku 5.

Monitorowanie wskaźnika ChZT nie jest wymagane w przypadku małych oczyszczalni ścieków odprowadzających ścieki do gruntu. Zgodnie z ROZPORZĄDZENIEM... (2006) w części dotyczącej jakości ścieków oczyszczonych odprowadzanych do urządzenia wodnego największa dopuszczalna wartość wskaźnika wynosi 125 mg O₂ w 1 dm³ (pozioma linia na wykresie). Wyniki badań wykazały, że ścieki odprowadzane z oczyszczalni w Rakoniewicach spełniały wymagania tylko od grudnia 2012 roku do marca 2013 roku (rys. 5a), po wprowadzeniu do systemu złoża ruchomego.



Rys. 4. Zmiany BZT₅ w ściekach surowych i oczyszczonych z oczyszczalni w Rakoniewicach (a) i Dakowach Mokrych (b)
 Fig. 4. Changes of BOD₅ in raw and purified wastewater from the wastewater treatment plant in Rakoniewice (a) and Dakoway Mokre (b)

Ścieki oczyszczone w Dakowach Mokrych mogą być odprowadzane do urządzenia wodnego, ponieważ wartość ChZT w ściekach oczyszczonych nie przekracza 125 mg O₂ w 1 dm³. Wyniki badań wykazały (rys. 5b), że w okresie od lipca do września 2012

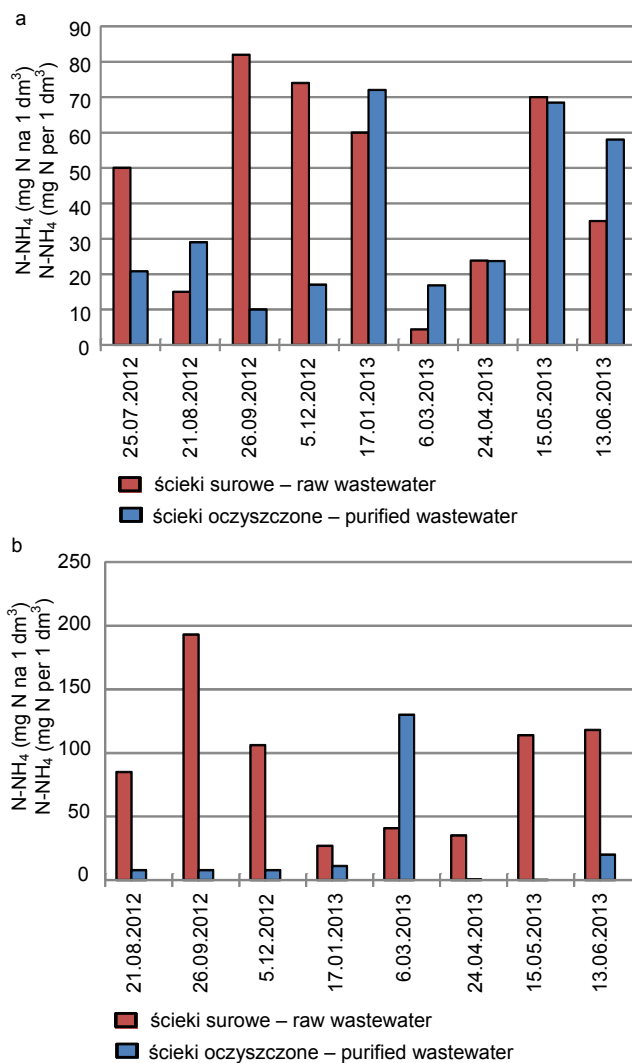


Rys. 5. Zmiana ChZT w ściekach surowych i oczyszczonych z oczyszczalni w Rakoniewicach (a) i Dakowach Mokrych (b)
 Fig. 5. Change of COD in raw and purified wastewater from the wastewater treatment plant in Rakoniewice (a) and Dakowy Mokre (b)

roku wartości ChZT przekraczały wymagania zawarte w rozporządzeniu. Od grudnia 2012 roku stwierdzono wzrost skuteczności oczyszczania ścieków.

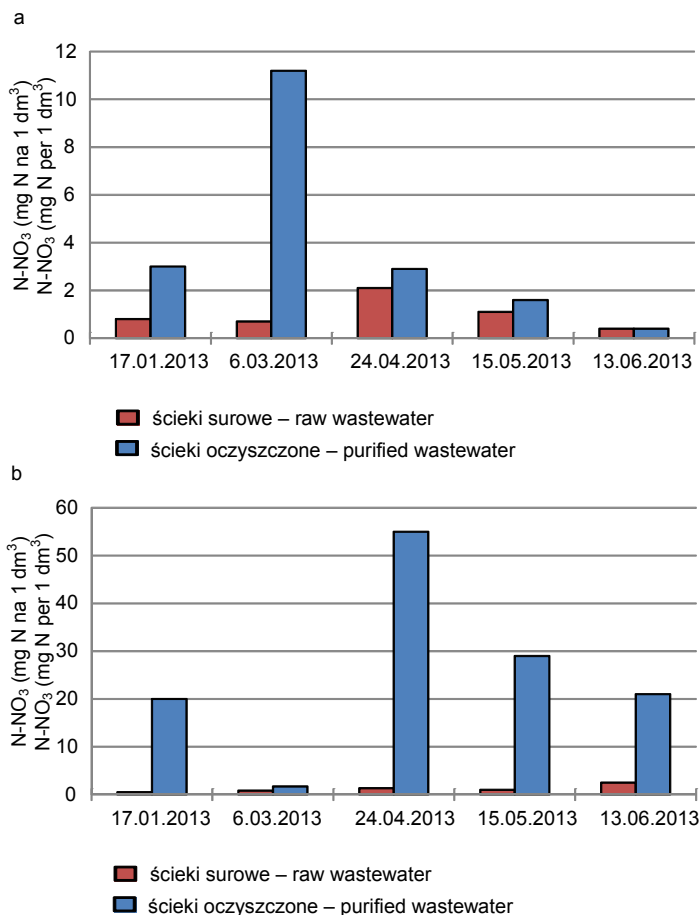
Azot amonowy i azotanowy

Zmiany stężeń azotu amonowego w ściekach surowych i oczyszczonych w Rakoniewiczach i Dakowach Mokrych przedstawiono na rysunku 6, a na rysunku 7 zobrazowano zmiany stężeń azotu azotanowego.



Rys. 6. Stężenie azotu amonowego w ściekach surowych i oczyszczonych z oczyszczalni w Rakoniewiczach (a) i Dakowach Mokrych (b)

Fig. 6. Ammonium nitrogen concentration in raw and purified wastewater from the wastewater treatment plant in Rakoniewice (a) and Dakowy Mokre (b)



Rys. 7. Stężenie azotu azotanowego w ściekach surowych i oczyszczonych z oczyszczalni w Rakoniewicach (a) i Dakowach Mokrych (b)

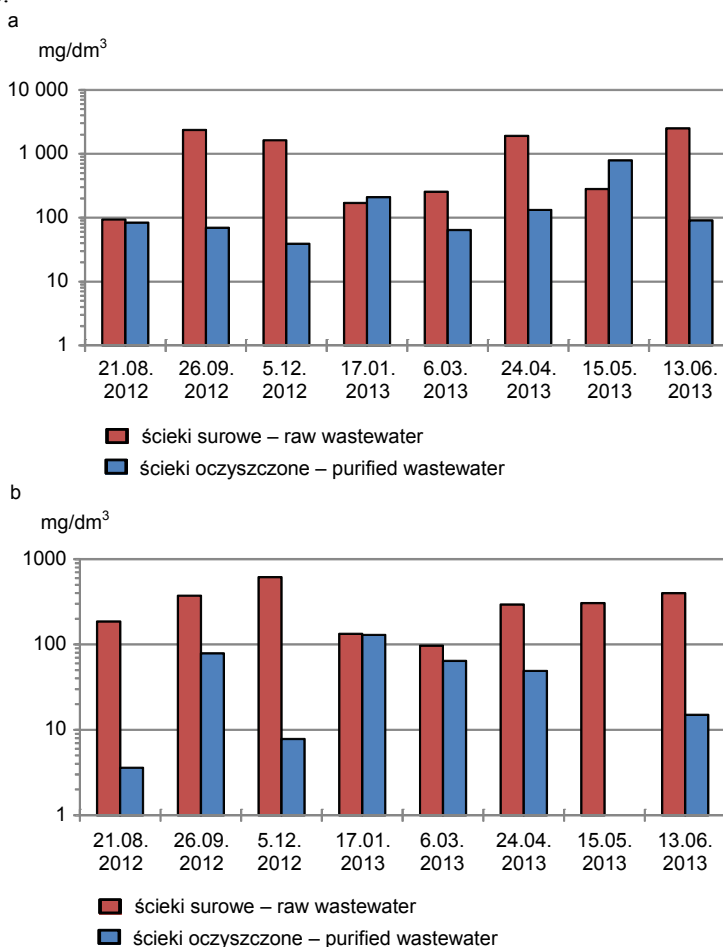
Fig. 7. Nitrate nitrogen concentration in raw and purified wastewater from the wastewater treatment plant in Rakoniewice (a) and Dakowy Mokre (b)

W styczniu 2013 roku w oczyszczalni w Rakoniewicach zaobserwowano wyraźny problem związany z nityfikacją. Spadek efektywności usuwania azotu amonowego, na co wskazuje również mała zawartość azotanów w odpływie (rys. 7a), był prawdopodobnie związany z niską temperaturą zewnętrzną oraz z długotrwałym (około pół roku) stosowaniem przez użytkownika obiektu biopreparatu wspomagającego rozruch oczyszczalni. W trakcie stopniowego wpracowywania złoża ruchomego umieszczonego w reaktorze stężenie azotu amonowego w ściekach oczyszczonych sukcesywnie malało (marzec, kwiecień). W maju i czerwcu zaobserwowano wyraźny wzrost stężenia azotu amonowego w ściekach oczyszczonych i spadek sprawności procesu nityfikacji; stwierdzono, że decydujący wpływ na przebieg procesów biochemicznych miały błędy

eksploatacyjne obiektu. W oczyszczalni w Dakowach Mokrych proces nityfikacji przebiegał bez zakłóceń. Świadczy o tym spadek stężenia azotu amonowego i wzrost stężenia azotanów (rys. 7b) w ściekach oczyszczonych. Zaobserwowany wzrost stężenia azotu amonowego w ściekach oczyszczonych w czerwcu był wynikiem stosowania antybiotyków przez jednego z mieszkańców gospodarstwa.

Zawiesina ogólna

Zmiany stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych w oczyszczalniach ścieków w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych z oczyszczalni w Rakoniewicach (a) i Dakowach Mokrych (b)

Fig. 8. Total suspension concentration in raw and purified wastewater from the wastewater treatment plant in Rakoniewice (a) and Dakoway Mokre (b)

Ścieki oczyszczone odprowadzane do gruntu w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych spełniały wymagania zawarte w rozporządzeniu (co najmniej 50% redukcji zawiesin ogólnych). Ścieki z tych oczyszczalni nie mogą być odprowadzane do urządzenia wodnego, ponieważ zawartość zawiesiny ogólnej przekracza 35 mg/dm^3 . Zwiększona zawartość zawiesiny w odpływie w Rakoniewicach (maj-czerwiec) była związana z awarią pompy.

Analiza wyników

Podatność ścieków na oczyszczanie biologiczne

Relacja pomiędzy ChZT a BZT_5 określa podatność ścieków surowych na rozkład biochemiczny, a jednym z najważniejszych czynników wpływających na szybkość wzrostu nityfikatorów w mieszanej populacji bakterii nityfikacyjnych i heterotroficznych jest stosunek BZT_5 do TKN . Za wartości graniczne przyjmuje się $\text{ChZT/BZT}_5 > 2,5$ dla substratu trudno rozkładalnego i $\text{ChZT/BZT}_5 < 1,8$ dla substratu łatwo rozkładalnego (MYSZOGRAJ 2005) oraz $\text{BZT}_5/\text{TKN} > 3,0$ dla małej zawartości nityfikatorów w biomacie. Przedział 0,5-3 jest charakterystyczny dla wydzielonego procesu nityfikacji, gdzie udział bakterii nityfikacyjnych w ogólnej biomacie osadu czynnego jest duży (MIKSCH i SIKORA 2010).

Uzyskane w oczyszczalni ścieków w Rakoniewicach wartości ChZT/BZT_5 w zakresie od 1,0 do 2,4 (tab. 2) świadczą o zawartości w ściekach dopływających do oczyszczalni związków organicznych łatwo rozkładalnych i niewielkiej ilości związków wolno rozkładalnych. W oczyszczalni w Dakowach Mokrych otrzymano iloraz ChZT/BZT_5 w zakresie 1,0-2,6 i jednorazowo 5,0; w większości są to wartości mniejsze od 2,5, ale większe od 1,8, co wskazuje na zawartość związków wolniej rozkładalnych. Wartości BZT_5/TKN w ściekach dla obu obiektów są większe od 3,0, co oznacza mniejszy udział nityfikatorów w biomacie osadu czynnego. W większości systemów oczyszczania (łączne utlenianie węgla organicznego i azotu amonowego), których przykładem są obiekty w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych, stosunek BZT_5/TKN jest zwykle większy niż 5 (MIKSCH i SIKORA 2010).

Skuteczność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w oczyszczalniach w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych

Sprawność reaktora SBR jest to wyrażony w procentach stosunek różnicy stężeń zanieczyszczeń organicznych na dopływie i odpływie do stężenia zanieczyszczeń organicznych dopływających do oczyszczalni.

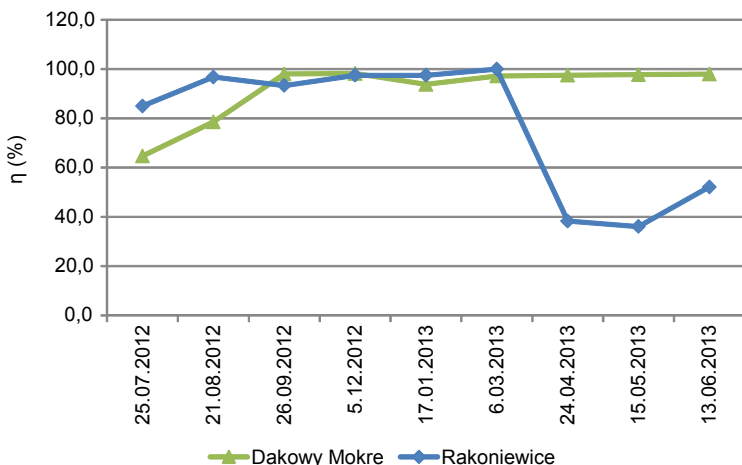
Badania dotyczące efektywności usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w reaktorach w Dakowach Mokrych i Rakoniewicach rozpoczęto analizą wstępną w lipcu 2012 roku. Sprawność reaktora biologicznego w Rakoniewicach pod względem usuwania zanieczyszczeń organicznych (BZT_5) kształtowała się wtedy na poziomie 85%, a reaktora w Dakowach Mokrych – na poziomie 65%. Z uwagi na małą efektywność pracy obiektów badań podjęto decyzję o dostarczeniu do reaktorów osadu czynnego z miejskiej oczyszczalni ścieków w Grodzisku Wielkopolskim. Po tym zabiegu, przeprowadzonym 1 sierpnia 2012 roku, sprawność przydomowych oczyszczalni stopniowo wzrastała (rys. 9).

Tabela 2. Czynniki wpływające na podatność ścieków na oczyszczanie oraz szybkość wzrostu nityfikatorów

Table 2. Factors affecting the susceptibility of wastewater treatment processes and growth rate of nitrifying organisms

	25.07. 2012	21.08. 2012	26.09. 2012	5.12. 2012	17.01. 2013	6.03. 2013	24.04. 2013	15.05. 2013	13.06. 2013
RAKONIEWICE									
ChZT/BZT ₅ COD/BOD ₅	1,5	1,0	1,5	1,3	1,8	2,4	1,6	1,6	1,3
BZT ₅ /ChZT BOD ₅ /COD	0,7	1,0	0,7	0,8	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8
ChZT/TKN COD/TKN	–	–	–	–	–	24,8	10,7	7,4	2,3
BZT ₅ /TKN BOD ₅ /TKN	–	–	–	–	–	9,9	6,5	4,6	1,8
Udział nityfikatorów (%) Participation of nitrifying organisms (%)	–	–	–	–	–	2,9	4,0	5,8	13,0
DAKOWY MOKRE									
ChZT/BZT ₅ COD/BOD ₅	1,0	5,0	1,9	1,8	2,3	2,6	2,5	2,2	2,1
BZT ₅ /ChZT BOD ₅ /COD	1,0	0,2	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
ChZT/TKN COD/TKN	–	–	–	–	–	8,4	14,4	4,6	23,8
BZT ₅ /TKN BOD ₅ /TKN	–	–	–	–	–	3,3	5,8	2,1	11,4
Udział nityfikatorów (%) Participation of nitrifying organisms (%)	–	–	–	–	–	7,8	4,6	12,0	2,1

W grudniu reaktor w Rakoniewicach został wzbogacony o złożo ruchome, miało to usprawnić usuwanie azotu amonowego, co zaobserwowano w czasie stopniowego wpracowywania złoża (rys. 6). Nieprawidłowości w pracy oczyszczalni, powodujące gwałtowny spadek sprawności oczyszczania ścieków, stwierdzono po 24 kwietnia 2013 roku. Przyczyną tego zjawiska było niekontrolowane zastosowanie przez użytkownika oczyszczalni biopreparatu przeznaczonego do prawidłowego utrzymania i eksploatacji osadników i rur drenarskich. Stwierdzono zdecydowany i utrzymujący się wzrost w ściekach oczyszczonych najpierw zawartości związków organicznych, a potem azotu amonowego (przesunięty w czasie w związku z nityfikatorami utwierdzonymi na wypełnieniu reaktora). Nie stwierdzono natomiast żadnych nieprawidłowości w pracy przydomowej oczyszczalni ścieków w Dakowach Mokrych. Sprawność reaktora w usu-



Rys. 9. Skuteczność usuwania związków organicznych (BZT₅) w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych

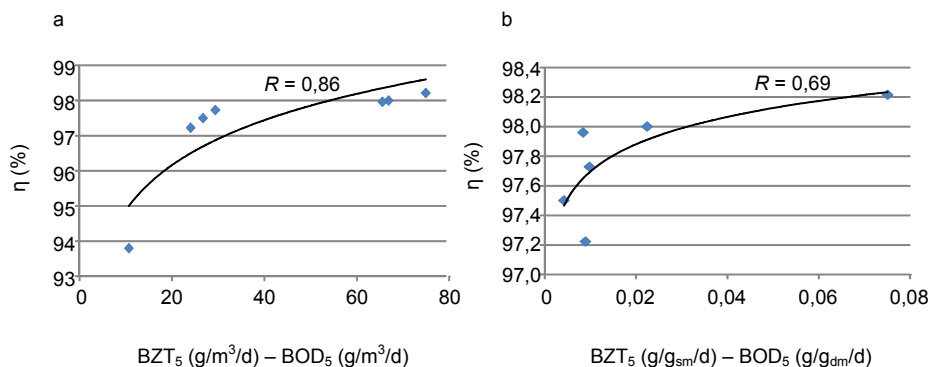
Fig. 9. Efficiency of organic compounds (BOD₅) removal in Rakoniewice and Dakowy Mokre

waniu zanieczyszczeń organicznych ze ścieków, po wprowadzeniu osadu czynnego z oczyszczalni ścieków w Grodzisku Wielkopolskim, wynosiła powyżej 90% i utrzymywała się na tym poziomie do końca badań.

Zależność efektywności oczyszczania od obciążenia biomasy ładunkiem zanieczyszczeń

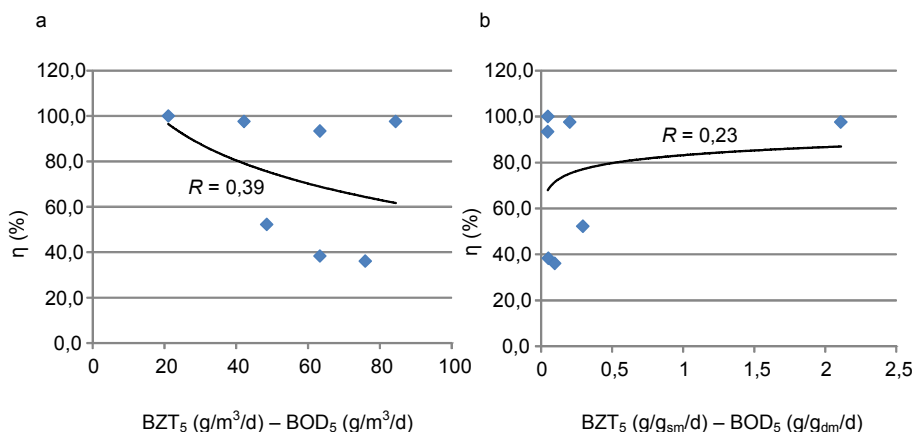
W przypadku dobrze wpracowanego osadu czynnego wzrost obciążenia biomasy zawieszanej czy komór napowietrzania ładunkiem zanieczyszczeń wpływa korzystnie na pracę reaktora. Taką prawidłowość zaobserwowano w Dakowach Mokrych po okresie wpracowania osadu czynnego. Na rysunku 10 przedstawiono zależność skuteczności usuwania zanieczyszczeń organicznych od obciążenia komory i biomasy ładunkiem BZT₅. Wartość współczynnika determinacji R wynosiła odpowiednio 0,86 i 0,69. Duża wartość tego współczynnika dowodzi, że skuteczność usuwania zanieczyszczeń jest istotnie zależna od obciążenia reaktora i biomasy ładunkiem w badanym zakresie obciążeń.

W przypadku oczyszczalni ścieków w Rakoniewicach ze względu na stosowanie biopreparatów i awarię obiektu uzyskane zależności statystyczne są rozbieżne (rys. 11). Analiza statystyczna wykazała, że zależności pomiędzy efektywnością pracy a obciążeniem ładunkiem zanieczyszczeń bioreaktora są statystycznie nieistotne. Potwierdza to niestabilną pracę tej oczyszczalni.



Rys. 10. Sprawność bioreaktora w Dakowach Mokrych (związki organiczne jako BZT_5) w zależności od obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń organicznych komór napowietrzania (a) i biomasy zawieszanej (b)

Fig. 10. Bioreactor's efficiency in Dakowy Mokre (organic compounds as BOD_5) in relationship with aeration chambers loading (a) and with suspended biomass loading (b) of organic pollutants



Rys. 11. Sprawność bioreaktora w Rakoniewicach (związki organiczne jako BZT_5) w zależności od obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń organicznych komór napowietrzania (a) i biomasy zawieszanej (b)

Fig. 11. Bioreactor's efficiency in Rakoniewice (organic compounds as BOD_5) in relationship with aeration chambers loading (a) and with suspended biomass loading (b) of organic pollutants

Dyskusja

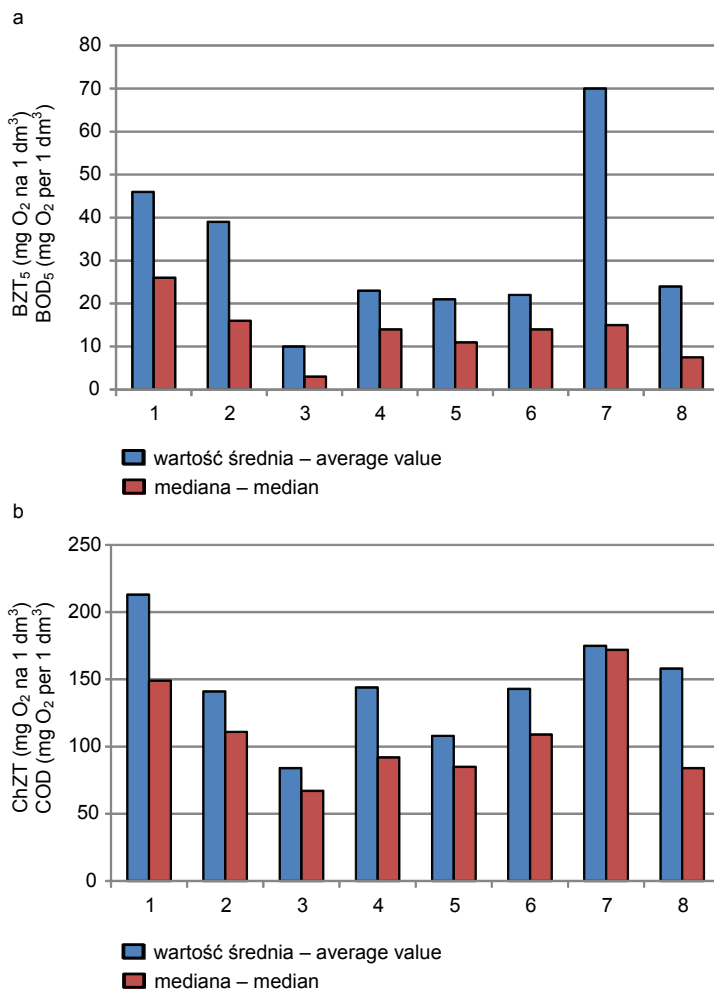
W przedstawionych w pracy obiektach oczyszczanie ścieków odbywa się w sekwencyjnych reaktorach biologicznych. Ładunek zanieczyszczeń organicznych dopły-

wający do badanych oczyszczalni był podobny i mieścił się w zakresie 42-165 g BZT₅ na 1 d w Rakoniewicach oraz 38-152 g BZT₅ na 1 d w Dakowach Mokrych.

Oczyszczanie ścieków w Dakowach Mokrych odbywa się w klasycznym reaktorze SBR, gdzie za proces oczyszczania odpowiedzialna jest biomasa zawieszona. Sprawność reaktora biologicznego – wyrażona jako skuteczność usuwania związków organicznych – wzrosła z 78,6% (sierpień 2012) do 98,2% (grudzień 2012). Gdy temperatura powietrza spadła poniżej zera, zmniejszyła się także sprawność oczyszczania ścieków – do 93,8%. Niska temperatura była także przyczyną małej skuteczności usuwania azotu amonowego. Biorąc pod uwagę I i II etap nitryfikacji, należy uznać, iż optymalna temperatura dla tego procesu wynosi 20°C. W temperaturze niższej nie następuje całkowite zahamowanie I etapu nitryfikacji – a co za tym idzie, mniejsza jest sprawność reaktora biologicznego pod kątem usuwania zanieczyszczeń organicznych i stężenia azotu amonowego (MAKUCH 2009). W kolejnych miesiącach sprawność reaktora biologicznego w usuwaniu azotu amonowego przekraczała 90%. Wyniki badań świadczą o bardzo stabilnej pracy systemu. Oczyszczalnia w Dakowach Mokrych jest przykładem na to, że sekwencyjne reaktory biologiczne odpowiednio kontrolowane są dobrą metodą oczyszczania ścieków z gospodarstw indywidualnych.

Oczyszczanie ścieków w Rakoniewicach początkowo odbywało się w klasycznym reaktorze SBR, w którym za proces oczyszczania odpowiedzialna była biomasa zawieszona. Sprawność reaktora biologicznego wzrosła w pierwszym etapie badań do 97,5% (grudzień 2012). Po przekształceniu reaktora SBR na hybrydowy SBBR, czyli po połączeniu technologii osadu czynnego i złoża ruchomego, stwierdzono sprawny przebieg procesu usuwania zanieczyszczeń organicznych i zwiększenie stopnia usuwania związków azotu, jednak w dalszym okresie badań problemem był proces nitryfikacji. Przypuszczalną przyczyną problemów był wolny przyrost nitrifikatorów związany z niską temperaturą zewnętrzną oraz wprowadzanie przez eksploatatorów oczyszczalni biopreparatów, które mogły hamować nitryfikację. Zdecydowane załamanie procesu nitryfikacji nastąpiło w maju. Dodatkowo, z powodu awarii sterowania, nastąpiła częściowa utrata osadu czynnego. Mimo że heterotrofy (charakteryzujące się krótszym czasem namnażania niż autotrofy) w formie utwierdzonej na wypełnieniu podtrzymywały proces w czasie gdy stężenie biomasy zawieszony zmniejszyło się, sprawność reaktora w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych również radykalnie spadła (do 33,8%). Oczyszczalnia, pomimo wzrostu temperatury zewnętrznej, dalej pracowała z bardzo małą sprawnością, prawdopodobnie dlatego, że zastosowane biopreparaty nie powinny być stosowane w reaktorach z osadem czynnym, lecz wyłącznie do udrażniania drenarzy rozsączających.

Działanie przedstawionych w pracy przydomowych oczyszczalni ścieków można porównać do różnego typu niemieckich oczyszczalni (STRAUB 2007). Z badań niemieckich wynika, że najskuteczniej działają roślinne oczyszczalnie ścieków o przepływie pionowym. Sekwencyjne reaktory biologiczne zostały sklasyfikowane na czwartej pozycji. Analizując skuteczność oczyszczania ścieków pod kątem wskaźników ChZT i BZT₅, można stwierdzić, iż sprawność działania oczyszczalni w Dakowach Mokrych jest porównywalna do tego samego typu oczyszczalni niemieckich. Sprawność działania oczyszczalni w Rakoniewicach jest mniejsza ze względu na błędy eksploatacyjne (rys. 12).



Rys. 12. Zawartość zanieczyszczeń organicznych jako BZT₅ (a) i ChZT (b) w ściekach oczyszczonych w różnych typach małych oczyszczalni (STRAUB 2007) w porównaniu z wynikami badań własnych; 1 – przepływowe systemy osadu czynnego, 2 – oczyszczalnie roślinne o przepływie poziomym, 3 – oczyszczalnie roślinne o przepływie pionowym, 4 – tarczowe (obrotowe) systemy oczyszczania, 5 – systemy filtrów ściekowych, 6 – systemy SBR, 7 – oczyszczalnia w Rakoniewicach, 8 – oczyszczalnia w Dakowach Mokrych

Fig. 12. Content of organic pollutants as BOD₅ (a) and ChZT (b) in purified wastewater in different types of small wastewater treatment plants (STRAUB 2007) compared with the obtained own results; 1 – continuous flow activated sludge systems, 2 – constructed wetlands with horizontal flow, 3 – constructed wetlands with vertical flow, 4 – rotating contactors, 5 – sewage filter systems, 6 – SBR systems, 7 – wastewater treatment plant in Rakoniewice, 8 – wastewater treatment plant in Dakowy Mokre

Wnioski

1. Małe oczyszczalnie ścieków w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych pracują w technologii SBR (osadu czynnego nisko obciążonego); warunki panujące w reaktorach nie są porównywalne.

2. Efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych i azotu amonowego zmniejszyła się wraz ze spadkiem temperatury. Sprawność reaktora biologicznego w Dakowach Mokrych w zakresie usuwania zanieczyszczeń organicznych wynosiła od 93,8 do 98%.

3. W zakresie badanych obciążeń (0,47-3,057 g BZT₅ na 1 g_{sm}/d w Rakoniewicach i 0,01-0,626 g BZT₅ na 1 g_{sm}/d w Dakowach Mokrych) wzrost obciążenia biomasy ładunkiem zanieczyszczeń organicznych ma korzystny wpływ na sprawność oczyszczania ścieków.

4. Ścieki odprowadzane do gruntu w Rakoniewicach i Dakowach Mokrych spełniają wymagania zawarte w ROZPORZĄDZENIU... (2006) – redukcja zawiesin ogólnych wynosiła co najmniej 50% i BZT₅ – 20%.

5. Oczyszczalnia w Dakowach Mokrych charakteryzuje się stabilną pracą, co przekłada się na bardzo dużą skuteczność usuwania zanieczyszczeń. Ścieki oczyszczone w reaktorze biologicznym w Dakowach Mokrych spełniają również wymagania stawiane przy ich odprowadzaniu do urządzeń wodnych (z wyjątkiem zawiesiny ogólnej). Efekty pracy oczyszczalni są porównywalne z podawanymi w literaturze.

6. Oczyszczalnia w Rakoniewicach charakteryzuje się brakiem stabilności. Kwalifikuje się ona jako obiekt, którego odbiornikiem ścieków oczyszczonych może być grunt.

7. Zastosowanie biopreparatów w oczyszczalni ścieków w Rakoniewicach nie wpłynęło korzystnie na rozruch i pracę reaktora biologicznego. Biopreparat stosowany przy rozruchu prawdopodobnie był przyczyną inhibicji procesu nityfikacji, natomiast zastosowany podczas eksploatacji biopreparat przeznaczony do prawidłowego utrzymania osadników i rur drenarskich był odpowiedzialny za mineralizację części osadu czynnego.

8. Bardzo istotna jest odpowiednia eksploatacja indywidualnych systemów oczyszczania ścieków, która powinna polegać na kontroli pracy urządzeń i efektów oczyszczania bez zbędnej ingerencji w skład mikroorganizmów odpowiedzialnych za usuwanie zanieczyszczeń.

Literatura

- DOKUMENTACJA techniczno-ruchowa oczyszczalni biologicznej typu SBR, firma HABA RL – Grodzisk Wielkopolski. Maszynopis. HABA RL, Grodzisk Wielkopolski.
- MAKOWSKA M., 2002. Obliczanie reaktorów ze złożem ruchomym na podstawie obciążenia biomasy ładunkiem zanieczyszczeń organicznych. *Gaz Woda Tech. Sanit.* 9: 336-338.
- MAKOWSKA M., 2010. Symultaniczne usuwanie związków węgla i azotu ze ścieków bytowych w bioreaktorach hybrydowych. *Rozpr. Nauk. UP Pozn.* 413.
- MAKUCH A., 2009. Biologiczne usuwanie związków azotu ze ścieków zawierających sulfonamidy. Maszynopis. Wydział Chemiczny Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- MELO L.F., 2005. Biofilm physical structure, internal diffusivity and tortuosity. *Water Sci. Technol.* 52, 7: 77-84.
- MIKSCH K., SIKORA J., 2010. *Biotechnologia ścieków*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Sowinska A., Makowska M., 2014. Wykorzystanie reaktora porcjowego (SBR) w indywidualnym systemie oczyszczania ścieków. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 3, #29.

MYSZOGRAJ S., 2005. ChZT i BZT₅ miarą biodegradowalności substancji organicznej. *Ekotechnika* 4: 42-45.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 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. 2006. Dz.U. 137, poz. 984.

STRAUB A., 2007. Praxisvergleich von biologischen Kleinkläranlagen – derzeitiger Stand in Deutschland. *Jahrb. Kleinkläranlag. DWA-Landesverb. Sachsen/Thüringen*: 81-94.

ŻUBROWSKA-SUDOŁ M., 2004. Zastosowanie złoża ruchomego w technologii oczyszczania ścieków. *Gaz Woda Tech. Sanit.* 7-8: 266-269.

EXPLOITATION OF SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR) IN INDIVIDUAL SYSTEM OF WASTEWATER TREATMENT

Summary. The quality of treated sewage from small wastewater treatment plants has a significant effect on the environment. In this work the impact of technological parameters on the effect of removing contaminants from wastewater treatment plants SBR was presented. The following indicators of contamination were analysed: Biochemical Oxygen Demand for 5 days (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), total nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, total suspensions. During the research, one of the reactors was converted into a hybrid reactor. Nevertheless, the operation of the reactor was unstable due to the uncontrolled use of biopreparations. Wastewater discharged into the soil from the studied small wastewater treatment plants met the requirements of the Ordinance – reduction of total suspended solids by at least 50% and BOD₅ – 20%. It was found that one should not unduly interfere with the operation of onsite wastewater treatment plants, but their work should be monitored.

Key words: sequencing biological reactor, hybrid reactor, indicators of contamination, activated sludge, moving bed

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Aleksandra Sowinska, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, wejście A, 60-649 Poznań, Poland, e-mail: sowinskaaleksandra@wp.eu

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

28.04.2014

Do cytowania – For citation:

*Sowinska A., Makowska M., 2014. Wykorzystanie reaktora porcjowego (SBR) w indywidualnym systemie oczyszczania ścieków. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 3, #29.*