

Wpłynęło 09.08.2012 r.
Zrecenzowano 25.09.2012 r.
Zaakceptowano 15.11.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

EFEKTYWNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BYTOWO-GOSPODARCZYCH W OCZYSZCZALNIACH GRUNTOWO-ROŚLINNYCH I GLEBOWO-ROŚLINNYCH

**Franciszek CZYŻYK¹⁾ ABCDF, Krzysztof PULIKOWSKI²⁾ CDF,
Maria STRZELCZYK¹⁾ BDEF, Katarzyna PAWĘSKA²⁾ BEF**

¹⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

²⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska

Streszczenie

Celem badań prezentowanych w pracy było rozpoznanie zmian efektywności oczyszczania ścieków bytowych w oczyszczalniach gruntowo-roślinnych i glebowo-roślinnych w zależności od czasu i warunków ich eksploatacji. W pracy przedstawiono wyniki badań skuteczności oczyszczania ścieków w złożach gruntowo-trzcinowych, zbudowanych wg systemu Kickutha, oraz oczyszczalni glebowo-roślinnej w początkowym okresie eksploatacji (na 4 obiektach) i po 15 latach (na 2 obiektach). Zaskakujące były zdecydowanie różniące się wyniki, uzyskane w pierwszych latach eksploatacji, z dwóch podobnych złóż gruntowo-trzcinowych, których eksploatację rozpoczęto w tym samym roku. Na jednym skuteczność oczyszczania zwiększała się z upływem czasu, a na drugim wystąpiły objawy braku tlenu w złożu i słabej nityfikacji azotu, co przejawiało się dużym stężeniem $N-NH_4$ w odpływach z oczyszczalni. Przyczyną tego była błędna lokalizacja oczyszczalni – w miejscu silnie zacienionym, co wpłynęło na bardzo słaby rozwój trzciny i jej systemu korzeniowego, a tym samym na słabe napowietrzanie złoża. Z upływem lat eksploatacji pogarszała się przepuszczalność złóż dwóch badanych oczyszczalni gruntowo-trzcinowych i wystąpiło ich zakolmatowanie, powodowane głównie niedostatecznym oczyszczeniem wstępnym doprowadzanych ścieków.

Stwierdzono znacznie wyższy stopień oczyszczania ścieków w oczyszczalni glebowo-roślinnej, zarówno w początkowym okresie eksploatacji, jak i po 15 latach. Uzyskane zmniejszenie głównych wskaźników zanieczyszczenia po 15 latach eksploatacji gruntowo-trzcinowych było następujące (w %): $N_{og} - 47$, $P_{og} - 63$, $BZT_5 - 93$, $ChZT_{Cr} - 81$, natomiast na oczyszczalni glebowo-roślinnej: $N_{og} - 84$, $P_{og} - 99$, $BZT_5 - 95$, $ChZT_{Cr} - 74$.

Słowa kluczowe: oczyszczalnie glebowo-roślinne, oczyszczanie ścieków, złoża gruntowo-trzcinowe

Do cytowania For citation: Czyżyk F., Pulikowski K., Strzelczyk M., Pawęska K. 2012. Efektywność oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach gruntowo-roślinnych i glebowo-roślinnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 4(40) s. 97–108.

WSTĘP

Do oczyszczania małych ilości ścieków, powstających w gospodarstwach domowych i obiektach usługowych, położonych na terenach bez dostępu do kanalizacji zbiorczych, wykorzystuje się obecnie różnorodne systemy konstrukcyjne i technologiczne, nazywane (często niesłusznie) oczyszczalniami przydomowymi. Ogólnie można je podzielić na systemy oczyszczania ścieków w środowisku naturalnym (glebowo- i gruntowo-roślinnym oraz wodno-roślinnym) oraz sztuczne systemy biologiczne (złoża biologiczne, osad czynny). Wspólnym elementem wszystkich tych systemów jest wstępne oczyszczanie mechaniczne ścieków. W oczyszczalniach przydomowych do wstępnego oczyszczania ścieków stosuje się osadniki gnilne. Poprawnie dobrana pojemność przepływowa oraz właściwa eksploatacja osadników gnilnych przedłuża okres eksploatacji oczyszczalni przydomowych i zwiększa eliminację zanieczyszczeń ze ścieków [PAWĘSKA i in. 2011].

Najprostszym systemem, zaliczanym do oczyszczalni przydomowych, jest osadnik gnilny w połączeniu z drenażem rozsączającym, zainstalowanym w gruncie na głębokości 0,6 m. Obowiązujące aktualnie przepisy prawne [Rozporządzenie... 2006] zezwalają na wprowadzenie ścieków z gospodarstwa domowego lub rolnego do gruntu w ilości $<5 \text{ m}^3$ na dobę. System ten trudno jednak uznać za oczyszczalnię ścieków, gdyż procesy ich oczyszczania są tu znikome (z wyjątkiem oczyszczania wstępnego w osadniku), a zdecydowana większość zanieczyszczeń przenika w głąb do wód gruntowych. Jest to raczej pozbycie się ścieków przez wprowadzenie ich pod powierzchnię terenu. W przypadku zastosowania takiego odprowadzania ścieków w większej liczbie gospodarstw położonych w pobliżu siebie może to powodować negatywne skutki w środowisku wodnym. Na tego rodzaju zagrożenia zwracają uwagę EYMONTT i ROGULSKI [2006] oraz JUCHERSKI i WALCZOWSKI [2011]. Podobne zagrożenia dla środowiska wodnego mogą występować w przypadku stosowania oczyszczalni z filtrem piaskowym.

Jednym z najlepszych rozwiązań, służących do oczyszczania małych ilości ścieków, jest wykorzystanie układu gleba-roślina [CZYŻYK 1994; KUTERA 1998; PALUCH 1984; PALUCH i in. 2006] lub grunt-roślina [SOROKO 1996]. Warunkiem skutecznego oczyszczania ścieków w tego typu oczyszczalniach jest dostosowanie parametrów technicznych, nie tylko do ilości ścieków, ale przede wszystkim do doprowadzanego w nich ładunku zanieczyszczeń oraz ścisłe przestrzeganie zasad prawidłowej ich eksploatacji [CZYŻYK 2003; CZYŻYK, SOROKO 1997; KARCMARCZYK, MOSIEJ 2007]. Dotyczy to zwłaszcza oczyszczalni gruntowo-roślinnych, gdyż oczyszczalnie glebowo-roślinne charakteryzują się dużą odpornością na przeciążenia ściekami [CZYŻYK 1994; PALUCH i in. 2006].

W Polsce projektowanie i budowanie oczyszczalni gruntowo-roślinnych na większą skalę rozpoczęto na początku lat 90. ubiegłego wieku. Na podstawie danych z krajów zachodniej Europy zakładano funkcjonalność (okres użytkowania) tych oczyszczalni na ok. 30 lat. Głównym czynnikiem limitującym okres eksplo-

tacji złóż gruntowo-roślinnych jest wyczerpanie się zdolności do zatrzymywania (wiązania) fosforu przez materiał złoża. Istotne znaczenie mają też warunki eksploatacji złóż i utrzymanie dobrej ich przepuszczalności hydraulicznej oraz napowietrzania. W praktyce okazało się, że liczne obiekty tego typu, po okresie od kilku- do około 10-letniego zadowalającego oczyszczania ścieków, przestały funkcjonować lub znacznie zmniejszyła się efektywność. Spowodowało to w wielu przypadkach wyłączenie oczyszczalni z eksploatacji, często bez ustalenia przyczyn złego ich funkcjonowania i możliwości usunięcia tych przyczyn. Skutkuje to opóźnieniem rozwiązania problemu oczyszczania ścieków na obszarach o rozproszonej zabudowie. Ciągłe aktualne jest stwierdzenie KACY [2007], że jednym z najpilniejszych wyzwań polskiej gospodarki ściekowej jest uporządkowanie problemu ścieków z obszarów o rozproszonej zabudowie, czyli w większości obszarów wiejskich. Konieczna jest więc budowa nowych obiektów oczyszczania ścieków, ale też usuwanie przyczyn złego funkcjonowania już istniejących i utrzymywanie ich w pełnej sprawności.

Celem badań prezentowanych w pracy jest ocena skuteczności oczyszczania ścieków bytowych w systemach gruntowo-roślinnych i glebowo-roślinnych w początkowych okresach i po kilkunastu latach ich eksploatacji oraz ustalenie niektórych przyczyn niewystarczającej ich efektywności czy nawet zaprzestania funkcjonowania.

PRZEDMIOT I METODY BADAŃ

Badania prowadzono na 3 oczyszczalniach gruntowo-roślinnych i 1 glebowo-roślinnej w początkowym okresie ich eksploatacji oraz po kilkunastu latach ich pracy. Skuteczność oczyszczania ścieków w początkowym okresie działania oczyszczalni badano w latach 1996–1998, na oddanych do eksploatacji w 1996 r. oczyszczalniach gruntowo-trzcinowych (trzciną pospolitą – *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) w Morawie, Szklarce i miejscowości N (nazwy nie podano na życzenie zarządcy oczyszczalni) oraz oczyszczalni glebowo-roślinnej w Brzeźnie, położonych na Dolnym Śląsku. Oczyszczalnie w Morawie koło Strzegomia i Szklarce koło Bystrzycy Kłodzkiej oraz w miejscowości N, położonej na terenie Sudetów, zostały zbudowane wg systemu Kickutha. Każda z nich składa się z 3-komorowego osadnika gnilnego do wstępnego oczyszczania ścieków, studzienki rozdzielającej ścieki na złoża i dwóch złóż gruntowo-trzcinowych. W skład złóż wchodzi grunt rodzimy (głina piaszczysta i piasek gliniasty) w ilości 82% oraz dodatki organiczne – 18% objętości. Oczyszczalnie w Szklarce i Morawie zostały zaprojektowane na dopływ ścieków w ilości 10–15 m³ w ciągu doby, a oczyszczalnia w N na dopływ dwukrotnie większy. Oczyszczalnia glebowo-roślinna w Brzeźnie koło Obornik Śląskich została zaprojektowana na dopływ 110 m³ ścieków na dobę. Składa się z 3-komorowego osadnika gnilnego, zbiornika akumula-

cyjnego o pojemności 120 m³ i zdrenowanej powierzchni 2,3 ha, podzielonej na 21 kwater do smużnego przepływu ścieków, obsianej trawami łąkowymi oraz obsadzonej topolą białą (*Populus alba* L.). Glebę stanowią tu głównie piaski naglinowe (lekkie i pylaste) o miąższości 1,0–1,5 m. Obciążenie hydrauliczne badanych obiektów było zgodne z przyjętymi w projektach dobowymi dopływami ilościowymi ścieków.

Na badanych obiektach pobierano, w odstępach miesięcznych, średnie dobowe próbki ścieków nieoczyszczonych i oczyszczonych do analiz laboratoryjnych. Analizy chemiczne próbek ścieków wykonywano metodami powszechnie stosowanymi w laboratoriach [HERMANOWICZ i in. 1999; Wydaw. Normaliz. ... 1999].

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Ścieki doprowadzane na badane oczyszczalnie charakteryzowały się zbliżonymi wartościami wskaźników zanieczyszczeń, typowymi dla wiejskich ścieków bytowo-gospodarczych. Były to wskaźniki podobne też do wskaźników typowych dla ścieków komunalnych z miast [CZYŻYK 1994]. Zróżnicowane były natomiast wskaźniki zanieczyszczenia ścieków odpływających z badanych oczyszczalni (tab. 1, rys. 1, 2). Wskaźniki te charakteryzowały się też dosyć dużą zmiennością (tab. 2). W ściekach odpływających ze wszystkich badanych obiektów najbardziej zmienne były stężenie N-NO₃ oraz wskaźnik BZT₅. Duża zmienność tych wskaźników wynika głównie z zależności przebiegu procesów biochemicznej mineralizacji substancji organicznej i nityfikacji azotu organicznego od temperatury otoczenia. Wpływ zmian temperatury powietrza atmosferycznego na przebieg tych procesów zaznaczył się szczególnie na oczyszczalni glebowo-roślinnej w Brzeźnie i stawie doczyszczającym w Morawie, o czym świadczy duża zmienność stężenia N-NO₃, a jeszcze większa wartość wskaźnika BZT₅. Na tych obiektach występuje bowiem bezpośredni kontakt przepływających ścieków z powietrzem atmosferycznym.

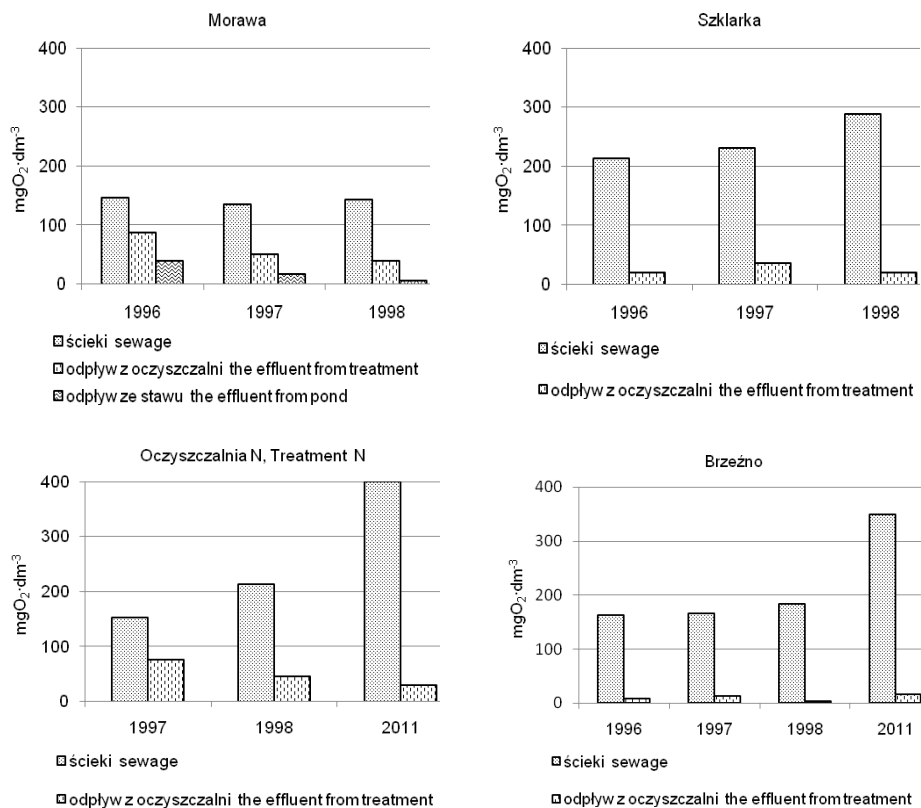
Ogólnie efektywność oczyszczania ścieków na badanych oczyszczalniach od początku ich eksploatacji była znacznie zróżnicowana (tab. 1, rys. 3, 4). Zaskakujące okazały się zwłaszcza wyniki uzyskane na podobnych (pod względem budowy złóż i wielkości obciążeń ściekami) oczyszczalniach gruntowo-trzcinowych w Morawie i Szklarce. Na oczyszczalni w Szklarce była znacznie wyższa efektywność zmniejszania wartości prawie wszystkich badanych wskaźników, zwłaszcza BZT₅, ChZT i azotu. Z upływem czasu eksploatacji, w miarę tzw. wpracowywania się oczyszczalni, w Szklarce zaznaczał się wzrost efektywności oczyszczania, zwłaszcza w zakresie eliminacji azotu. Duże stężenie azotu amonowego, występujące w odpływach z oczyszczalni w Morawie, wskazywało wyraźnie na niedostateczne natlenienie złoża i słaby przebieg nityfikacji azotu. Świadczyło o tym również stosunkowo małe zmniejszenie wskaźników BZT i ChZT w odpływach. Analizując

Tabela 1. Zawartość azotu i jego form oraz fosforu w ściekach doprowadzanych na oczyszczalnię i z nich odpływających, w $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Table 1. The concentration of nitrogen forms and phosphorus in raw and treated sewage, in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

| Obiekt Object | Rok Year | Zawartość w ściekach dopływających Concentration in sewage inflow | | | | | Zawartość w ściekach odpływających z oczyszczalni Concentration in sewage outflow | | | | | Zawartość w ściekach odpływające ze stawu doczyszczającego Concentration in sewage outflow from a polishing pond | | | | |
|------------------|-------------|--|-------------------|-------------------|-------------------------------------|--|---|-------------------|-------------------|-------------------------------------|--|---|-------------------|-------------------|-------------------------------------|--|
| | | N_{og} N_{tot} | N-NH ₄ | N-NO ₃ | P_{og} P_{tot} | zawiesina ogólna total suspen- sed solids | N_{og} N_{tot} | N-NH ₄ | N-NO ₃ | P_{og} P_{tot} | zawiesina ogólna total suspen- sed solids | N_{og} N_{tot} | N-NH ₄ | N-NO ₃ | P_{og} P_{tot} | zawiesina ogólna total suspen- sed solids |
| Morawa | 1996 | 59,0 | 49,7 | 1,6 | 7,9 | 130 | 34,1 | 28,7 | 1,1 | 6,8 | 85 | 20,7 | 16,4 | 1,9 | 4,5 | 60 |
| | 1997 | 60,4 | 46,4 | 1,4 | 7,0 | 96 | 52,1 | 42,4 | 1,6 | 5,7 | 76 | 30,3 | 22,0 | 2,6 | 3,8 | 42 |
| | 1998 | 67,4 | 49,1 | 1,4 | 8,0 | 121 | 51,9 | 42,1 | 1,8 | 5,9 | 49 | 25,8 | 14,5 | 5,1 | 2,9 | 30 |
| Szklarka | 1996 | 70,6 | 59,2 | 1,7 | 12,0 | 114 | 36,8 | 30,5 | 2,4 | 4,8 | 54 | – | – | – | – | – |
| | 1997 | 72,1 | 56,8 | 1,5 | 11,2 | 139 | 33,9 | 27,9 | 2,9 | 4,5 | 55 | – | – | – | – | – |
| | 1998 | 90,5 | 65,4 | 2,4 | 12,0 | 229 | 20,2 | 10,0 | 2,5 | 2,3 | 36 | – | – | – | – | – |
| N | 1997 | 60,2 | 56,0 | 1,1 | 10,2 | 164 | 51,7 | 31,3 | 1,4 | 3,8 | 58 | – | – | – | – | – |
| | 1998 | 63,4 | 56,7 | 1,5 | 11,7 | 177 | 45,4 | 27,7 | 1,5 | 4,1 | 47 | – | – | – | – | – |
| | 2011 | 58,4 | 55,3 | 0,9 | 7,0 | 164 | 30,7 | 6,1 | 1,2 | 2,6 | 39 | – | – | – | – | – |
| Brzeźno | 1996 | 66,8 | 52,9 | 3,5 | 8,7 | 161 | 11,3 | 1,4 | 7,9 | 0,4 | 81 | – | – | – | – | – |
| | 1997 | 54,8 | 46,5 | 1,3 | 9,0 | 123 | 12,8 | 1,3 | 2,7 | 1,0 | 65 | – | – | – | – | – |
| | 1998 | 88,6 | 59,6 | 2,3 | 13,2 | 155 | 12,2 | 1,6 | 4,1 | 0,6 | 21 | – | – | – | – | – |
| | 2011 | 108,8 | 94,4 | 1,3 | 14,0 | 194 | 17,8 | 0,4 | 11,2 | 0,2 | 35 | – | – | – | – | – |

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

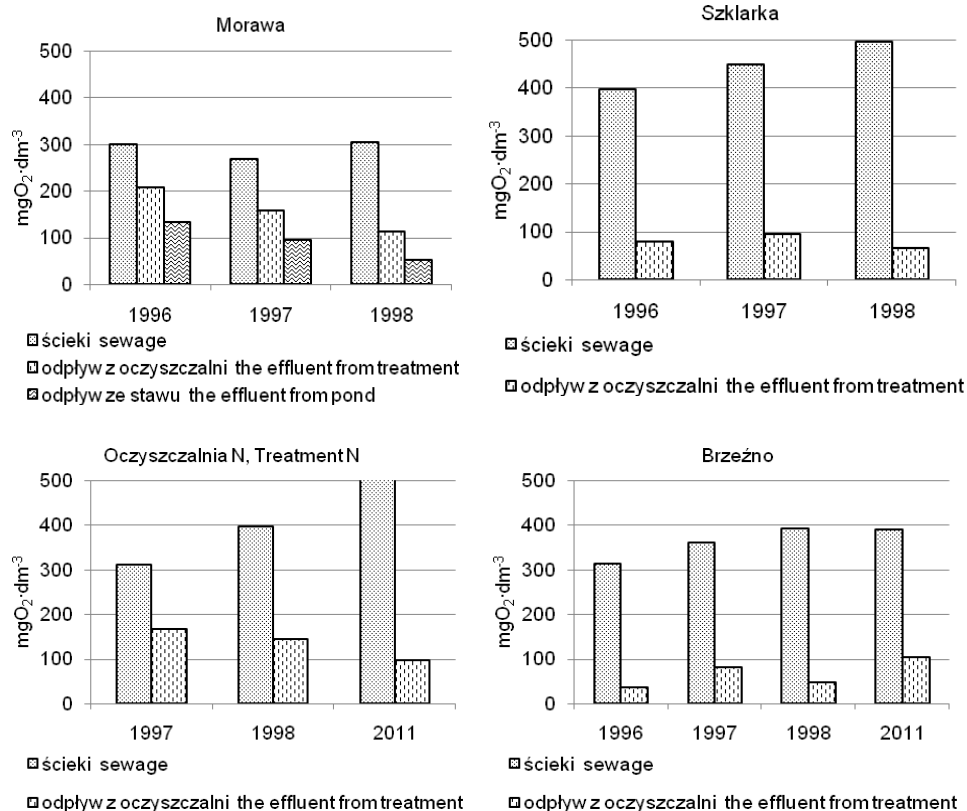


Rys. 1. Wartość wskaźnika BZT₅ w ściekach doprowadzanych na oczyszczalnię i z nich odpływających; źródło: wyniki własne

Fig. 1. BOD₅ in raw and treated sewage; source: own studies

wszystkie możliwe przyczyny takiego stanu, zaobserwowano zdecydowane różnice w rozwoju trzciny na porównywanych złożach. Trzcina na złożu w Morawie była rachityczna, a w jego pokrywie roślinnej przeważały chwasty. Brak dobrze rozwiniętego pokrycia powierzchni trzcina jest równoznaczny ze słabym systemem podpowierzchniowych jej rozlogów doprowadzających powietrze do złoża. Przyczyną tego było zlokalizowanie oczyszczalni w starym parku, pomiędzy wysokimi drzewami powodującymi duże zacienienie. Był to błąd projektowy (lokalizacyjny), gdyż trzcina jest rośliną światłolubną i słabo rozwijającą się w miejscach zacienionych. Wskutek słabej efektywności złoża w Morawie skierowano ścieki z tego złoża do pobliskiego stawu (oczka wodnego), gdzie następowało ich doczyszczanie do wymaganego stopnia.

Na oczyszczalni w Szklarce, mimo zadowalających efektów oczyszczania, już w trzecim roku jej eksploatacji zdarzały się przypadki przepływu ścieków po powierzchni złoża, co świadczyło o zmniejszaniu się ich przepuszczalności. Z upły-



Rys. 2. Wartość wskaźnika ChZT_{Cr} w ściekach doprowadzanych na oczyszczalnię i z nich odpływających; źródło: wyniki własne

Fig. 2. COD_{Cr} in raw and treated sewage; source: own studies

wem lat narastały trudności z odbiorem ścieków przez złoża i po około 10 latach oczyszczalnia została wyłączona z eksploatacji. Podobna sytuacja wystąpiła na oczyszczalni w N. Po kilku latach jej eksploatacji przeprowadzono tu modernizację osadników wstępnych i oczyszczenie (przeplukanie) urządzeń doprowadzających i odprowadzających ścieki. Po tych zabiegach oczyszczalnia pracuje nadal z zadowalającymi efektami, co potwierdzają wyniki badań po jej piętnastoletniej eksploatacji. Przywrócenie sprawności oczyszczalni świadczy o wcześniejszym zakolmatowywaniu złożeń wskutek niedostatecznego wstępnego (mechanicznego) oczyszczania ścieków. Dopływ zawiesiny do złożeń zwiększał też ich obciążenie substancją organiczną, co mogło wpływać na zmniejszenie skuteczności jej usuwania. Powodowało to również pogarszanie warunków przepływu ścieków przez złoża. W przypadku złożeń gruntowo-roślinnych dokładne wstępne mechaniczne oczyszczanie ścieków jest absolutnie konieczne. Zaniechanie kontroli urządzeń do wstęp-

Tabela 2. Średnie i ekstremalne stężenie azotu, fosforu i zawiesiny oraz wskaźniki BZT₅ i ChZT_{Cr} w ściekach odpływających z badanych oczyszczalni w latach 1996–1998 i 2011

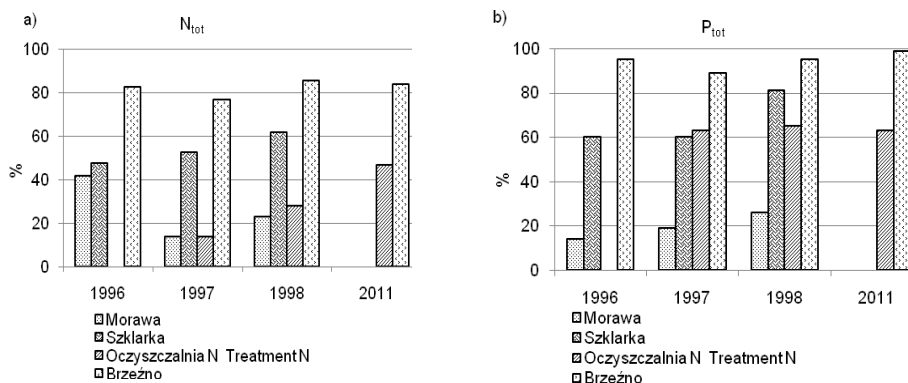
Table 2. The average and extreme concentrations of nitrogen, phosphorus and suspended solids, BOD₅ and COD_{Cr} in the effluent from the analysed treatment plants in the years 1996–1998 and 2011

| Wskaźnik i jednostka miary Index and unit | Morawa (złóże) Morawa (deposit) <i>n</i> = 24 | | Morawa (staw doczyszczający) Morawa (polishing pond) <i>n</i> = 24 | | Szkłarka <i>n</i> = 24 | | Oczyszczalnia w N Treatment in N <i>n</i> = 18 | | Brzeźno <i>n</i> = 24 | |
|---|---|------------|--|------------|----------------------------|------------|--|------------|----------------------------|------------|
| | $\frac{x}{\text{min-max}}$ | <i>V</i> % | $\frac{x}{\text{min-max}}$ | <i>V</i> % | $\frac{x}{\text{min-max}}$ | <i>V</i> % | $\frac{x}{\text{min-max}}$ | <i>V</i> % | $\frac{x}{\text{min-max}}$ | <i>V</i> % |
| N _{og-} , N _{tot-} mg N·dm ⁻³ | $\frac{46.0}{7.8-75.9}$ | 26 | $\frac{25.8}{8.6-60.5}$ | 40 | $\frac{30.0}{9.8-79.1}$ | 59 | $\frac{42.6}{11.2-81.0}$ | 62 | $\frac{13.5}{4.1-43.7}$ | 64 |
| N-NO ₃ mg N·dm ⁻³ | $\frac{1.6}{0.2-5.5}$ | 83 | $\frac{3.2}{0.3-12.0}$ | 86 | $\frac{2.6}{0.3-5.6}$ | 80 | $\frac{1.5}{0.5-7.0}$ | 82 | $\frac{6.4}{0.9-16.0}$ | 87 |
| P _{og-} , P _{tot-} mg P·dm ⁻³ | $\frac{6.1}{2.8-8.72}$ | 29 | $\frac{3.5}{0.7-7.0}$ | 45 | $\frac{3.8}{0.2-7.8}$ | 64 | $\frac{3.5}{0.9-10.1}$ | 66 | $\frac{0.6}{0.1-0.44}$ | 78 |
| BZT ₅ , BOD ₅ mg O·dm ⁻³ | $\frac{55.0}{12.0-130.0}$ | 57 | $\frac{16.2}{2.8-116.0}$ | 139 | $\frac{25.8}{5.0-84.0}$ | 74 | $\frac{27.0}{5.5-81.0}$ | 71 | $\frac{7.0}{0.4-70.0}$ | 196 |
| ChZT _{Cr} , COD _{Cr} mg O·dm ⁻³ | $\frac{148.0}{74.2-300.0}$ | 34 | $\frac{83.1}{11.4-217.0}$ | 51 | $\frac{85.3}{15.3-222.5}$ | 56 | $\frac{69.1}{14.0-182.5}$ | 54 | $\frac{57.6}{21.6-231.0}$ | 70 |
| Zawiesina ogólna Total suspended solids mg O·dm ⁻³ | $\frac{70}{13.0-148.0}$ | 52 | $\frac{44.0}{9.0-117.0}$ | 60 | $\frac{48.0}{12.0-74.0}$ | 47 | $\frac{48.0}{15.0-76.0}$ | 45 | $\frac{40.0}{10.0-101.0}$ | 71 |

Objaśnienia: *n* – liczba próbek, *x* – średnia wartość wskaźników, *V*% – współczynnik zmienności.

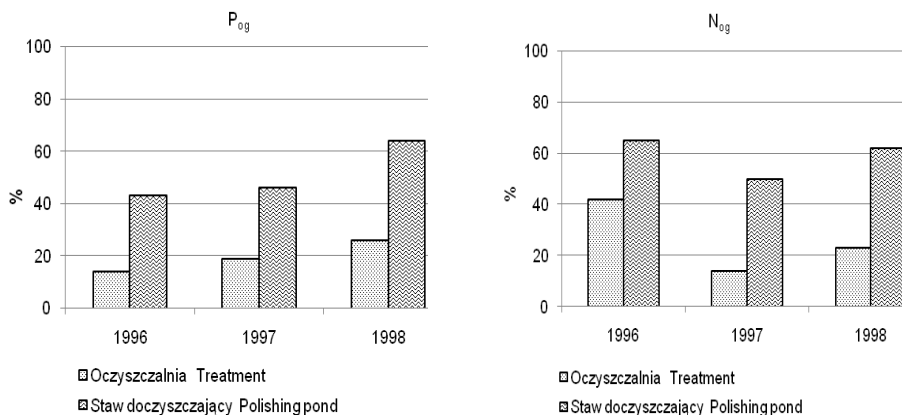
Explanations: *n* – number of samples, *x* – mean index, *V*% – variability coefficient.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.



Rys. 3. Efektywność oczyszczania ścieków, wyrażona % zmniejszenia stężenia: a) N_{og} , b) P_{og} ; źródło: wyniki własne

Fig. 3. The efficiency of sewage treatment expressed in % reduction of concentration of: a) N_{tot} and b) P_{tot} ; source: own studies



Rys. 4. Efektywność oczyszczania ścieków, wyrażona % zmniejszenia stężenia: a) N_{og} , b) P_{og} w oczyszczalni gruntowo-trzcinowej oraz w stawie doczyszczającym na obiekcie w Morawie; źródło: wyniki własne

Fig. 4. The efficiency of sewage treatment expressed in % reduction of concentration of: a) N_{tot} and b) P_{tot} in ground-reed treatment unit and in a polishing pond in the object in Morawa; source: own studies

nego oczyszczania ścieków oraz brak systematycznego okresowego usuwania z nich osadu skutkuje stopniowym zmniejszaniem przepuszczalności hydraulicznej złóż, pojawianiem się powierzchniowego przepływu ścieków i utratą funkcjonalności oczyszczalni. W oczyszczalniach glebowo-roślinnych, w przeciwieństwie do gruntowo-roślinnych, dokładność wstępnego oczyszczania ścieków nie ma istotnego znaczenia, gdyż ścieki są tu doprowadzane na powierzchnię gleby i dopływająca z nimi drobna zawiesina nie powoduje ujemnych skutków.

Oczyszczalnia glebowo-roślinna w Brzeźnie wykazała znacznie wyższą efektywność oczyszczania ścieków niż złoża gruntowo-trzcinowe, zarówno w początkowym okresie eksploatacji, jak i po 15 latach. W pierwszych trzech latach eksploatacji (1996–1998) średnie stężenie azotu ogólnego w ściekach odpływających z tej oczyszczalni wynosiło 11,3–12,8 mg N·dm⁻³, a fosforu ogólnego 0,4–1,0 mg P·dm⁻³. W odpływach ze złóż gruntowo-trzcinowych (z wszystkich trzech obiektów) stężenie to było 2–4 razy większe i wynosiło odpowiednio 20,2–52,1 mg N·dm⁻³ oraz 2,3–6,8 mg P·dm⁻³. Nieco mniejsze dysproporcje, zwłaszcza pod względem zawartości azotu, wystąpiły po 15 latach eksploatacji (2001 r.) oczyszczalni glebowo-roślinnej w Brzeźnie i działającej nadal oczyszczalni gruntowo-roślinnej w miejscowości N. Średnie zawartości azotu i fosforu w ściekach odpływających z oczyszczalni wynosiły odpowiednio 17,8 mg N·dm⁻³ i 0,2 mg P·dm⁻³ w Brzeźnie i 30,7 mg N·dm⁻³ oraz 2,6 mg P·dm⁻³ na obiekcie N. Różnice między średnią zawartością zawiesiny ogólnej w ściekach odpływających z oczyszczalni glebowo-roślinnej i złóż gruntowo-roślinnych były znacznie mniejsze niż w przypadku azotu i fosforu (tab. 1). Należy jednak zaznaczyć, że w ściekach odpływających z oczyszczalni glebowo-roślinnej występuje zawsze znaczna ilość zawiesiny pochodzenia glebowego.

W ściekach odpływających z oczyszczalni w Brzeźnie w 2011 r. wystąpiło większe stężenie azotu oraz większa zawartość substancji organicznej (BZT₅, ChZT_{Cr}) niż w latach 1996–1998, lecz wynikało to prawdopodobnie z większej wartości tych wskaźników w doprowadzanych ściekach. Procentowe zmniejszenie wartości tych wskaźników zanieczyszczenia po 15 latach eksploatacji oczyszczalni utrzymywało się na podobnym poziomie, jak w początkowym okresie. Wpływ na wartość wskaźników zanieczyszczenia wód pościekowych, odpływających z oczyszczalni w 2011 r., miały zapewne też błędy eksploatacyjne. W ostatnich latach zaniechano bowiem zbioru i usuwania zielonej masy roślinności z powierzchni oczyszczalni. Usuwanie roślinności jest jednym z głównych czynników, wpływających na efektywność oczyszczania ścieków w środowisku glebowo-roślinnym. Zostało to wykazane przez wielu autorów, między innymi CZYŻYKA [1994], KUTERĘ [1998] i KUCZEWSKIEGO [2001]. Z masą roślin zbieraną z powierzchni oczyszczalni glebowo-roślinnej można usunąć do 96% rocznego ładunku azotu i ponad 82% ładunku fosforu, dostarczonego na tę powierzchnię [KUCZEWSKI 2001]. Tak skutecznie można usuwać azot z plonami roślin tylko w przypadku stosowania bardzo małych obciążeń powierzchni ściekami. Według CZYŻYKA [1994], azot usuwany z plonami roślin stanowi zwykle od 20 do 65%, a fosfor od 30 do ok. 100% ładunku tych składników, dostarczonego na oczyszczalnię ze ściekami. W praktyce występują często duże obciążenia oczyszczalni glebowo-roślinnych ściekami, a tym samym wskaźniki eliminacji składników biogenych z plonami roślin nie są na ogół wysokie.

WNIOSKI

1. Efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w złożach gruntowo-roślinnych zależy nie tylko od rodzaju gruntu użytego do budowy złóż, ale też wystarczającego ich natlenienia przez system korzeniowy.

2. Prawidłowa lokalizacja oczyszczalni, w miejscach nasłonecznionych, zapewniająca dobry rozwój trzciny i jej systemu korzeniowego, zwiększa natlenianie złóż oraz mineralizację substancji organicznej.

3. W celu uniknięcia kolmatacji wypełnienia złóż i utraty przez nie przewodności hydraulicznej konieczne jest zapewnienie wysokiej jakości wstępnego oczyszczania ścieków w osadnikach gnilnych poprzez ich obowiązkową kontrolę i okresowe usuwanie nadmiaru osadów z ich komór, a także utrzymywanie drożności układów do dystrybucji ścieków na złoża.

4. Oczyszczalnia glebowo-roślinna charakteryzuje się wieloletnią stabilną i znacząco większą efektywnością oczyszczania ścieków niż złoża gruntowo-trzcinowe. W celu zwiększenia tej efektywności należy przestrzegać zasad prawidłowej eksploatacji oczyszczalni, w tym między innymi zbierać systematycznie zieloną masę roślin z jej powierzchni (3 razy w roku).

LITERATURA

- CZYŻYK F. 1994. Wpływ wieloletnich nawodnień ściekami na glebę, wody gruntowe i rośliny. Rozprawa habilitacyjna. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-85735-19-4 ss. 76.
- CZYŻYK F. 2003. Badania efektywności pracy oczyszczalni gruntowo-roślinnych i wodno-roślinnych typu „Lemna”. *Ochrona Środowiska*. Nr 2 s. 57–60.
- CZYŻYK F., SOROKO M. 1997. Wstępne wyniki badań efektywności gruntowo-roślinnych i wodno-roślinnych oczyszczalni ścieków. W: *Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry*. Pr. zbior. Red. A. Nalberczyński. III Konferencja „Odra 1997”. Świeradów Zdrój, 12–14 maja 1997 r. Wrocław, Katowice, Poznań, Szczecin. Wydaw. PZITS s. 219–225.
- EYMONT A., ROGULSKI B. 2006. Oczyszczalnie przydomowe a zagrożenie środowiska. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 107–116.
- HERMANOWICZ W., DOZAŃSKA W., DOJLIDO J., KOZIORAWSKI B., ZERBE J. 1999. Fizyczno-chemiczne badania wody i ścieków. Warszawa. Arkady. ISBN 83-213-4067-9 ss. 555.
- JUCHERSKI A., WALCZOWSKI A. 2011. Ocena efektywności napowietrzania ścieków w osadniku wstępnym i jej wpływ na technologiczną skuteczność quasi naturalnych oczyszczalni ścieków gruntowo-roślinnych. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*. Nr 2 s. 80–85.
- KACA E. 2007. Infrastruktura wodno-ściekowa na wsi na przełomie wieków. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 35–45.
- KARCZMARCZYK A., MOSIEJ J. 2007. Skuteczność oczyszczania ścieków w systemach hydrofitowych na przykładzie złóż trzcinowych z przepływem poziomym. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*. Vol. 6(4) s. 79–88.
- KUCZEWSKI K. 2001. Wpływ masy roślinnej usuwanej z powierzchni oczyszczalni roślinno-glebowej na efekt oczyszczania ścieków. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 3. s. 66–74.
- KUTERA J. 1998. Wykorzystanie ścieków w rolnictwie. Warszawa. PWRiL. ISBN 83-09-01222-5 ss. 509.

- PALUCH J. 1984. Oczyszczanie ścieków miejskich w środowisku glebowym. Zeszyty Naukowe AR Wrocław. Ser. Rozprawy. Nr 40. ISSN 0209-1321 ss. 151.
- PALUCH J., PARUCH A., PULIKOWSKI K. 2006. Wstępne wyniki badań oczyszczalni zagrodowej typu ORP. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 1 (16) s. 297–305.
- PAWĘSKA K., PULIKOWSKI K., STRZELCZYK M., RAJMUND A. 2011. Osadnik gnilny – podstawowy element przydomowej oczyszczalni ścieków. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 10 s. 43–53.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska. Dz.U. 2006. Nr 137 poz. 984.
- SOROKO M. 1996. Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych w złożach gruntowo-korzeniowych z przepływem podpowierzchniowym i pionowym. Zeszyty Naukowe AR Wrocław. Ser. Konferencje. 13. T. 1. Nr 293 s. 243–251.
- Wydaw. Normaliz. Alfa-Wero 1999. Zestaw norm. Woda i ścieki. Warszawa.

Franciszek CZYŻYK, Krzysztof PULIKOWSKI, Maria STRZELCZYK, Katarzyna PAWĘSKA

THE EFFICIENCY OF DOMESTIC SEWAGE TREATMENT IN GROUND-PLANT AND SOIL-PLANT TREATMENT UNITS

Key words: *reed bed system, soil-plant treatment, wastewater treatment*

S u m m a r y

The aim of this study was to trace changes in the efficiency of domestic sewage treatment in soil-plant and ground-plant systems in relation to the time and conditions of use. The paper presents results of testing the effectiveness of sewage treatment in ground reed beds constructed according to Kickuth system and in soil-plant treatment units, in the beginning of utilization period (in 4 objects) and after 15 years (in 2 objects). Surprising were the definitely different results obtained during the first years of utilization in two similar reed beds, which started operating in the same year. In one, the efficiency of treatment increased with time and in the other the symptoms of oxygen deficit and weak nitrification were observed in the bed which manifested itself in high $N-NH_4$ concentrations in the outflow from the treatment unit. The reason was in faulty location of the treatment unit in an intensely shaded place resulting in poor development of reed and its root-rhizome system and, consequently, in poor aeration of the bed. In the two examined ground reed treatment units, the beds lost their permeability and became silted with time due mainly to insufficient primary sewage treatment.

The soil-plant treatment unit showed considerably higher degree of sewage purification, both during the initial period of utilization and after 15 years. In ground reed beds, after 15 years of their utilization, the reduction of main pollutants was (in %): $N_{tot} - 47$, $P - 63$, $BOD - 93$, $COD_{Cr} - 81$, whereas in soil-plant treatment units it was: $N_{tot} - 84$, $P - 99$, $BOD - 95$, $COD_{Cr} - 74$.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. inż. F. Czyżyk, Dolnośląski Ośrodek Badawczy ITP, ul. Berlinga 7, 51-209 Wrocław; tel. +48 71 367-80-92, e-mail: F.Czyzyk@itp.edu.pl