

Beata Tomczuk¹, Dariusz Ochrymiuk²

OCENA EFEKTYWNOŚCI GRUNTOWO-ROŚLINNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW NA PODSTAWIE WYNIKÓW ROCZNEGO PROJEKTU BADAWCZEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki rocznego monitoringu efektywności ośmiu gruntowo-roślinnych oczyszczalni ścieków wybudowanych w ramach projektu Centrum Zielonych Technologii, realizowanego przez Podlaską Stację Przyrodniczą NAREW. Celem badań było sprawdzenie, czy obok wysokiej efektywności ekonomicznej i wysokiego poziomu satysfakcji użytkowników, zapewniają one również wymaganą efektywność oczyszczania.

Słowa kluczowe: przydomowe oczyszczalnie ścieków, złoża hydrofitowe o przepływie pionowym, ścieki bytowo-gospodarcze.

WPROWADZENIE

Podlaska Stacja Przyrodnicza „NAREW” w ramach projektu Centrum Zielonych Technologii od siedmiu lat zgłębia wiedzę z zakresu technologii proekologicznych. Zajmując się zagadnieniem gospodarki wodno-ściekowej wypromowała projekt gruntowo-roślinnej oczyszczalni ścieków i wybudowała według niego na terenie województwa podlaskiego osiem oczyszczalni. Efektem realizacji projektu było również rozpowszechnienie wiedzy na temat tej naturalnej i niskonakładowej metody oczyszczania ścieków. Potencjalnym użytkownikom oczyszczalni przekazano informacje na temat ich budowy i eksploatacji. W wyniku podjętych działań oczyszczalnie gruntowo-roślinne (hydrofitowe, ze złożem gruntowo-roślinnym) na stałe wpisały się do krajobrazu podlaskiej wsi. Nadal najpopularniejszym rozwiązaniem są jednak oczyszczalnie z drenażem rozsączającym. Z ankiety przeprowadzonej przez Grygorczuk-Petersons w jednej z gmin województwa podlaskiego wynika, że poziom zadowolenia z ich użytkowania w pierwszych latach eksploatacji jest wysoki. Pojawiają się jednak obawy co do działania oczyszczalni z drenażem rozsączającym w perspektywie kilku lat [5]. Co więcej, niemożliwa jest ocena ich efektywności ze względu na brak możliwości poboru próbki ścieków oczyszczonych [1].

Oczyszczalnie gruntowo-roślinne są powszechnie uważane za lepsze rozwiązanie od oczyszczalni z drenażem rozsączającym, choć brakuje danych na temat efektywności

¹ Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, e-mail: b.tomczuk@doktoranci.pb.edu.pl

² Podlaska Stacja Przyrodnicza „NAREW”, e-mail: ochrymiuk@pspnarew.org.pl

objektów pracujących od kilku lat. Stało się to przesłanką do podjęcia badań, których celem było określenie efektywności gruntowo-roślinnych oczyszczalni ścieków wybudowanych w ramach projektu Centrum Zielonych Technologii, jej sezonowej zmienności oraz sprawdzenie, czy spełniają one wymogi Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [12]. W efekcie przeprowadzone badania posłużyły uzyskaniu informacji, czy oprócz udowodnionej wysokiej efektywności ekonomicznej [5] gruntowo-roślinne oczyszczalnie ścieków zapewniają również wysoką efektywność oczyszczania.

WYMAGANIA PRAWNE DOTYCZĄCE JAKOŚCI ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH W PRZYDOMOWEJ OCZYSZCZALNI

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku [12] ścieki oczyszczone mogą być odprowadzane do gruntu, wód lub do urządzeń wodnych.

Odbiornikiem ścieków oczyszczonych w przydomowej oczyszczalni ścieków jest najczęściej grunt stanowiący własność wprowadzającego. W przypadku, gdy ilość ścieków nie przekracza $5 \text{ m}^3/\text{d}$, a miejsce ich wprowadzania jest oddzielone od najwyższego poziomu wód podziemnych $1,5$ metrową warstwą gruntu, wymagane jest obniżenie stężenia związków organicznych wyrażonych przez biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT_5) o co najmniej 20% i stężenia zawiesin ogólnych o co najmniej 50% w stosunku do stężenia w ściekach surowych. Jeśli ilość ścieków oczyszczonych odprowadzanych do gruntu bądź wód przekracza $5 \text{ m}^3/\text{d}$, powinny one odpowiadać warunkom stawianym dla oczyszczalni o równoważnej liczbie mieszkańców poniżej 2000 (RLM), czyli wskaźniki zanieczyszczeń powinny zostać obniżone co najmniej do wartości: BZT_5 : $40 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$, ChZT: $150 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ i zawiesiny ogólne: $50 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Gdy ścieki oczyszczone odprowadzane są do jezior i ich dopływów lub bezpośrednio do sztucznych zbiorników na wodach płynących dodatkowo nie mogą być przekroczone stężenia azotu ogólnego: $30 \text{ mg N}/\text{dm}^3$ i fosforu ogólnego: $5 \text{ mg P}/\text{dm}^3$ [12].

W sytuacji odprowadzania ścieków oczyszczonych do urządzeń wodnych znajdujących się w granicach gruntu stanowiącego własność wprowadzającego, ścieki powinny odpowiadać wymaganiom stawianym oczyszczalniom o RLM od 2000 do 9999 , czyli: BZT_5 : $25 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ lub $70 \div 90\%$ redukcja, ChZT: $125 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ lub 75% redukcja, zawiesiny ogólne: $35 \text{ mg}/\text{dm}^3$ lub 90% redukcja [12].

METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w ośmiu pracujących w skali rzeczywistej instalacjach –podpowierzchniowych złożach hydrofitowych o pionowym przepływie ścieków. Wybudowane zostały one w różnych rejonach województwa podlaskiego w okresie

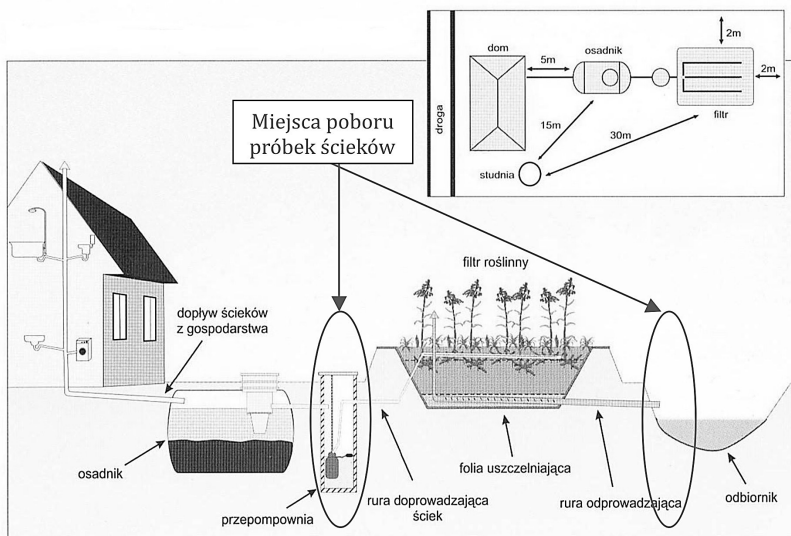
od listopada 2007 do maja 2010. Szczegółowe informacje dotyczące ich lokalizacji, daty budowy oraz liczby obsługiwanych mieszkańców przedstawiono w tabeli 1.

Układ technologiczny badanych oczyszczalni stanowią: osadnik gnilny z filtrem doczyszczającym, przepompownia ścieków, filtr gruntowo-roślinny o pionowym przepływie ścieków, studzienka kontrolna i układ umożliwiający odprowadzenie ścieków oczyszczonych do gruntu, wody lub urządzenia wodnego [4]. Schemat układu technologicznego i miejsca poboru próbek ścieków surowych i oczyszczonych przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1. Lokalizacja, data budowy i liczba mieszkańców obsługiwanych przez przydomowe oczyszczalnie ścieków wybudowane w ramach projektu Centrum Zielonych Technologii

Lp.	Lokalizacja	Data budowy	Liczba obsługiwanych mieszkańców
1.	Pańki	11.2007	5
2.	Rzędziany: – agroturystyka – imprezy okolicznościowe	08.2009	na stałe 10–20 osób, imprezy 120 osób
3.	Borki	09.2009	2
4.	Budy Leśne	05.2010	2
5.	Gajowniki	05.2010	2-5
6.	Witowo	11.2009	4
7.	Postołowo	10.2009	3
8.	Waniewo: – kwatera agroturystyczna	04.2010	1 osoba na stałe, kwatery na 5–15 osób

Opracował: D. Ochrymiuk



Rys. 1. Schemat układu technologicznego i miejsca poboru próbek ścieków [13]

Pierwszym elementem układu oczyszczania jest osadnik gnilny. Stanowi on jedyne spotykane rozwiązanie w zakresie oczyszczania beztlenowego. Jego zadaniem jest czasowe gromadzenie ścieków odprowadzanych z gospodarstwa domowego, ich wstępne mechaniczne oczyszczenie oraz wyrównanie natężenia przepływu ścieków podawanych do złoża gruntowo-roślinnego. W projekcie zastosowano atestowany osadnik gnilny wyposażony w filtr doczyszczający wypełniony materiałem filtracyjnym, przez który ścieki oczyszczone mechanicznie są odprowadzone do dalszego etapu oczyszczania. Wstępna filtracja ścieków zabezpiecza rury drenażowe przed zamulaniem. Za osadnikiem gnilnym znajduje się przepompownia ścieków, której zadaniem jest skierowanie ścieków do filtra gruntowo-roślinnego. Przepompownia stosowana jest w przypadkach braku możliwości grawitacyjnego odprowadzenia ścieków. W projekcie proponuje się wykorzystanie gotowej przepompowni przeznaczonej do przydomowej oczyszczalni ścieków bądź jej montaż we własnym zakresie [4]. Zasadniczy element oczyszczalni stanowi filtr gruntowo-roślinny, składający się z trzech warstw: dolnej (grubość ok.: 20 cm) wykonanej ze żwiru płukanego o frakcji 2–16 mm, środkowej (grubość ok.: 60 cm) wykonanej z piasku płukanego lub żwiru drobnego o frakcji 0,5–2 mm oraz górnej (grubość ok.: 20 cm) wykonanej ze żwiru płukanego o frakcji 2–16 mm, w niektórych przypadkach z niewielkim 5–10% dodatkiem elementów organicznych (kora). Na powierzchni górnej warstwy filtra ułożony i obsypany grubym żwirem został drenaż rozsączający. Drenaż zbierający umieszczono w dolnej warstwie. Złoże obsadzone zostało roślinnością bagienną taką jak: trzcina pospolita (*Phragmites australis*), pałka wodna (*Typha L.*), sitowie (*Scirpus*), manna mielec (*Glyceria maxima*), irys (*Iris L.*), tatarak zwyczajny (*Acorus calamus L.*) i oczeret jeziorny (*Schoenoplectus lacustris*). Wielkość filtra uzależniona jest od ilości osób obsługiwanych przez przydomową oczyszczalnię ścieków. Projekt zakłada przyjęcie powierzchni od 3 do 5 m² na osobę. Za filtrem znajduje się studzienka kontrolna, która umożliwi kontrolę napełnienia filtra, a także pobór próbek ścieków oczyszczonych. Ostatnim elementem instalacji jest układ umożliwiający odprowadzenie ścieków oczyszczonych, który stanowić może staw, pochłaniacz roślinny (staw wykonany bez uszczelnienia), studnia chłonna lub drenaż rozsączający [4].

W ramach badań oznaczono stężenia zanieczyszczeń zawartych w ściekach po mechanicznym oczyszczeniu w osadniku gnilnym i w ściekach oczyszczonych w filtrze gruntowo-roślinnym. Na miejsce poboru próbek ścieków surowych wybrano przepompownię ścieków, zaś ścieków oczyszczonych studzienkę kontrolną za filtrem a w przypadku jej braku rurę odprowadzającą ścieki oczyszczone z filtra gruntowo-roślinnego do odbiornika. Oznaczano następujące wskaźniki zanieczyszczeń podstawowych: zawiesiny ogólne, biochemiczne zapotrzebowanie na tlen BZT₅, chemiczne zapotrzebowanie na tlen ChZT-Cr, azot amonowy N-NH₄⁺, azot azotanowy N-NO₃⁻ i fosfor ogólny P_{og}. Badania przeprowadzono w laboratorium Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, zgodnie ze standardowymi metodami obowiązującymi w Polsce.

Otrzymane wyniki badań poddano opracowaniu statystycznemu. W artykule przedstawiono wartości średnie, minimalne i maksymalne w poszczególnych porach roku. Z danych wykluczono wartości zakłócające informację o faktycznej efektywności oczyszczalni: przypadki wtórnego zanieczyszczenia ścieków oczyszczonych (próbki zimowe i wiosenne z Postołowa i Rzędzian, próbka wiosenna z Waniewa) i obniżenia efektywności wynikającego z błędów w budowie (próbki zimowe i wiosenne z Witowa i Postołowa), które zostały wyeliminowane przed poborem próbek letnich.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Usuwanie zawiesin ogólnych

Stężenie zawiesin ogólnych w ściekach po mechanicznym oczyszczeniu w osadniku gnilnym wahało się w granicach 23 – 94 mg/dm³, średnio 44 mg/dm³. Duży wpływ na reprezentatywność otrzymanych wyników miał pobór próbek. Podana maksymalna wartość wystąpiła tylko raz przy jesiennym poborze próbki z dawno nieczyszczonej, pokrytej warstwą osadu przepompowni w Postołowie. Niskie stężenia zawiesin ogólnych w ściekach odpływających z osadnika wymaga jego dostatecznie dużej pojemności i związanego z nią czasu zatrzymania, a także dobrego zabezpieczenia wylotu przed wypływem osadu i kożucha [2]. Wymiary osadnika powinny zapewnić objętość pozwalającą na przetrzymanie ścieków przez 5 dni, w czasie których najintensywniej zachodzą procesy beztlenowego rozkładu materii organicznej. Możliwe powinno być również przetrzymywanie osadu przez ok. 180 dni, potrzebne na pełne zajście fermentacji **psychrofilowej**, zapewniającej beztlenową stabilizację osadu [6, 7]. Skuteczne usuwanie zawiesin w osadniku gnilnym jest warunkiem koniecznym prawidłowego i wieloletniego działania filtra gruntowo-roślinnego. Zabezpiecza ono przed zatykaniem naturalnych porów w złożu, a w efekcie przed procesem kolmatacji złoża, uniemożliwiającym jego dalszą eksploatację.

Stężenie zawiesin ogólnych w ściekach oczyszczonych wahało się w granicach 10 – 37 mg/dm³. Niższe wartości obserwowano w młodszych oczyszczalniach, wyższe w starszych. W żadnej z badanych oczyszczalni nie zaobserwowano wyższego stężenia zawiesin ogólnych w odpływie niż na dopływie, co mogłoby wskazywać na konieczność wymiany przynajmniej górnej warstwy filtra. Nigdzie nie zostało przekroczone maksymalne dopuszczane przez Rozporządzenie [12] stężenie zawiesin ogólnych w ściekach oczyszczonych równe 50 mg/dm³. Potwierdza to prawidłowy dobór i eksploatację osadników gnilnych, a także wysoką efektywność złożeń hydrofitowych w usuwaniu zawiesin ogólnych.

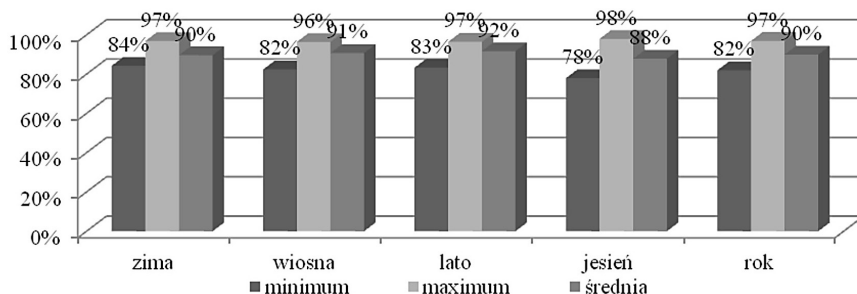
Usuwanie związków organicznych

Efektywność usuwania związków organicznych oceniana jest za pomocą wskaźników: biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT₅) i chemiczne zapotrzebowanie

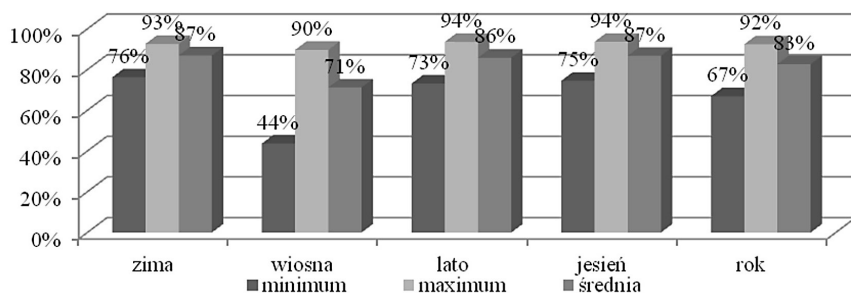
na tlen (ChZT). Efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych przez BZT_5 przedstawiona została na rysunku 2, zaś związków organicznych i niektórych nieorganicznych wyrażonych przez ChZT na rysunku 3.

Wartość BZT_5 w ściekach po osadniku gnilnym wynosiła od 140 do 960 $mg\ O_2/dm^3$, średnio 537 $mg\ O_2/dm^3$. Takie parametry mają ścieki oczyszczone w oczyszczalniach z drenażem rozsączającym. Wartości te nie pozwalają na ich odprowadzanie do wód ani urządzeń wodnych. Wartość BZT_5 w ściekach oczyszczonych wahała się w granicach 3–210 $mg\ O_2/dm^3$, średnio 48 $mg\ O_2/dm^3$. Efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych przez BZT_5 wynosiła średnio 90%. Spełniony został zatem wymóg co najmniej 20% procentowego obniżenia wartości BZT_5 przy wprowadzaniu ścieków oczyszczonych do gruntu, jak też 70% obniżenia wymaganego przy odprowadzaniu ścieków oczyszczonych do urządzeń wodnych. W 55% badanych próbek wartość BZT_5 w ściekach oczyszczonych wynosiła poniżej 40 $mg\ O_2/dm^3$ – wartości pozwalającej na odprowadzanie ścieków oczyszczonych do wód, zaś w przypadku 41% badanych prób poniżej 25 $mg\ O_2/dm^3$, która pozwala na odprowadzanie ścieków oczyszczonych do urządzeń wodnych w granicach gruntu stanowiącego własność wprowadzającego.

Średnia efektywność usuwania związków organicznych i niektórych nieorganicznych wyrażonych przez ChZT wynosiła 83%. W 82% badanych próbek osiągnięta efektywność pozwala na odprowadzanie ścieków oczyszczonych do wód. Osiągnięta efektywność



Rys. 2. Efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych przez BZT_5



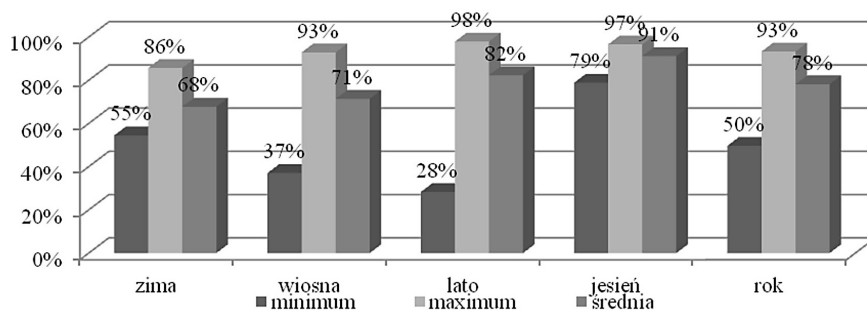
Rys. 3. Efektywność usuwania związków wyrażonych przez ChZT

nie spadała poniżej 75% i tym samym pozwala również na odprowadzanie ścieków oczyszczonych do urządzeń wodnych znajdujących się w granicach gruntu stanowiącego własność wprowadzającego.

Obserwowane obniżenie efektywności usuwania związków organicznych poza sezonem letnim wynosiło od kilku do kilkunastu procent. Wynika ono ze specyfiki procesów zachodzących w złożu i jest typowe dla oczyszczalni hydrofitowych. Literatura podaje wyższe od otrzymanego nawet o 20% obniżenie efektywności w okresie zimowym, na co mogła wpłynąć specyfika lokalnych warunków klimatycznych, w tym łagodna zima w roku badań [8]. Wysokie, średnio ponad 80% obniżenia wartości BZT₅ i ChZT świadczą o prawidłowej budowie i eksploatacji oczyszczalni. Założenie powierzchni 3 – 5 m² na osobę jest zgodne z podawanymi w opracowaniach na temat hydrofitowej metody oczyszczania ścieków [3, 11, 15]. Wyeliminowanie z filtra materiałów organicznych pozwoliło niektórym autorom publikacji krajowych i zagranicznych na osiągnięcie wyższej efektywności usuwania związków organicznych [11]. Zastosowany łatwo rozkładalny materiał jest jedną z przyczyn zjawiska kolmatacji.

Usuwanie azotu amonowego

Efektywność usuwania azotu amonowego przedstawiona została na rysunku 4. Średnia efektywność usuwania azotu amonowego wynosiła średnio 78%. Wskazuje na dobre natlenienie złoża pozwalające na wysoką efektywność procesu nityfikacji [10]. Podobne wyniki zostały otrzymane przez Perflera, Haberla [11] oraz przez Kuczewskiego [8].



Rys. 4. Efektywność usuwania azotu amonowego

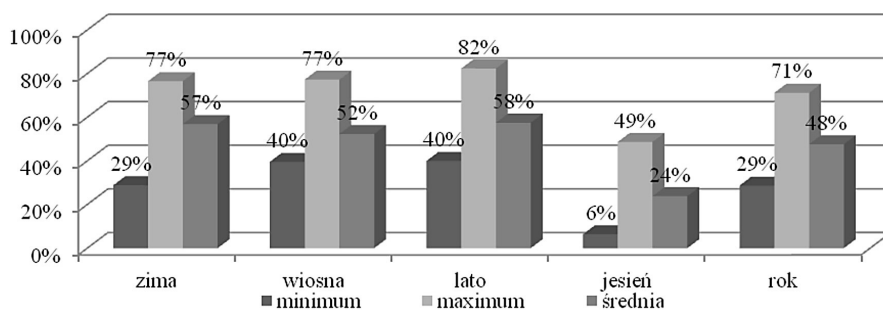
Stężenie azotu azotanowego (V)

Stężenie azotu azotanowego (V) w ściekach surowych wahało się w zakresie 0,1 – 5,1 mg/dm³ (średnio 1,0 mg/dm³), a w ściekach oczyszczonych 0,0 – 39 mg/dm³ (średnio 22,0 mg/dm³). Średni wzrost stężenia azotu azotanowego (V) w ściekach oczyszczonych wynosił 94%. Oczyszczalnie wykazywały charakterystyczną dla złożów hydrofitowych o pionowym przepływie ścieków wysoką

efektywność procesu nityfikacji, ale nie przeprowadzały skutecznie procesu denityfikacji. Powodowało to wysokie stężenie w odpływie azotu azotanowego będącego jednym ze składników azotu ogólnego. W 41% analizowanych prób stężenie było powyżej 30 mg/dm^3 . W tych przypadkach niemożliwe jest odprowadzanie ścieków oczyszczonych do jezior i ich dopływów oraz bezpośrednio do sztucznych zbiorników wodnych usytuowanych na wodach płynących. Przy odprowadzaniu ścieków do pozostałych wód i do ziemi zawartość azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych nie jest limitowana.

Usuwanie fosforu ogólnego

Efektywność usuwania fosforu ogólnego przedstawiona została na rysunku 5. Efektywność usuwania fosforu ogólnego wynosiła średnio 48%, a w poszczególnych obiektach wahała się w granicach od 6% do 82%. Zależna była od pojemności sorpcyjnej złoża, która największa jest w przypadku najmłodszych obiektów. Średnia wysoka efektywność wynikała z wieku badanych oczyszczalni: najmłodsza miała pół roku, a najstarsza trzy lata. Badania prowadzone w starszych obiektach wskazują na ok. 10 – 30% zdolność redukcji fosforu ogólnego, bez większych zmian w cyklu rocznym [14].



Rys. 5. Efektywność usuwania fosforu ogólnego

Stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych wahało się w granicach $0,5 - 34 \text{ mg/dm}^3$ (średnio 12 mg/dm^3). W 73% badanych prób przekraczało 5 mg/dm^3 , co uniemożliwia odprowadzenie ścieków oczyszczonych do jezior i ich dopływów oraz bezpośrednio do sztucznych zbiorników wodnych usytuowanych na wodach płynących. Przy odprowadzaniu ścieków do pozostałych wód i do ziemi zawartość fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych nie jest limitowana.

WNIOSKI

1. Przydomowe, gruntowo-roślinne oczyszczalnie ścieków wybudowane w ramach projektu Centrum Zielonych Technologii zapewniają wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń, wynoszącą średnio w przypadku BZT₅: 90%, ChZT: 83%, azotu amonowego: 78% i fosforu ogólnego 48%.
2. Sezonowa zmienność pracy oczyszczalni oscyluje na poziomie kilkunastu procent.
3. Przydomowe oczyszczalnie z filtrem gruntowo-roślinnym zapewniają usuwanie zanieczyszczeń na poziomie wymaganym przez prawo przy odprowadzaniu ścieków do gruntu. Większość oczyszczalni jest w stanie osiągnąć efektywność usuwania związków organicznych wymaganą przy odprowadzaniu ścieków oczyszczonych do wód. Trudna do osiągnięcia jest jednak wysoka efektywność usuwania związków azotu ogólnego i fosforu ogólnego, pozwalających na odprowadzenie ścieków oczyszczonych do jezior i ich dopływów oraz sztucznych zbiorników wodnych usytuowanych na wodach płynących.

LITERATURA

1. Błażejowski R. 2004. Aktualny status prawny przydomowych oczyszczalni ścieków i perspektywy ich rozwoju. *Wodociągi-Kanalizacja*, nr 10: 24–25.
2. Błażejowski R. 2006. Wybrane problemy projektowania przydomowych oczyszczalni ścieków. Seminarium w Bucharzewie. <http://www.haba.pl/images/Bucharzewo/Bucharzewo2006b.pdf> (data dostępu: 07.02.2012)
3. Copper P. 2003. Sizing vertical flow and hybrid constructed wetland systems. [In:] V. Dias & J. Vymazal (Ed.) 1st International Seminar on: The use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisbona, Portugalia.
4. Daniów M., Hawryłyszyn M. Oczyszczalnia ścieków z filtrem gruntowo-roślinnym. Projekt technologiczny.
5. Grygorczuk-Petersons E.H. 2011. Ocena funkcjonowania przyzagrodowych oczyszczalni ścieków na terenie wybranej gminy Zielonych Płuc Polski. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 24: 32–37.
6. Halicki W. 2004. Technologia roślinno-stawowej oczyszczalni ścieków do wielokrotnego zastosowania w gminie Sokoły, Skórzyn.
7. Heidrich Z., Stańko G. 2007. Leksykon przydomowych oczyszczalni ścieków, Wydawnictwo „Seidel – Przywecki” Sp. z o.o, Warszawa.
8. Kuczewski K., Paluch J. 1997. Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych na terenach wiejskich w oczyszczalniach roślinno-glebowych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław: 102–110.
9. Kundzewicz A., Miłaszewski R. 2011. Analiza efektywności kosztowej indywidualnych systemów usuwania i oczyszczania ścieków, *Inżynieria Ekologiczna*, vol. 24, ss. 174–183.
10. Obarska-Pempkowiak H. 2002. Oczyszczalnie hydrofitowe. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk: 7–50, 124–132.

11. Perfler R., Haberl R. 1995. Reed Bed Systems for Water Pollution Control in Rural Areas. Loughborough, UK.
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2006 nr 137 poz. 984).
13. Strona projektu Centrum Zielonych Technologii www.zielonetechnologie.pl (25.08.2010).
14. Wierzbicki K. 2007. Analiza i ocena różnych rozwiązań kanalizacji bytowej na terenach wiejskich. IBMER, Warszawa.
15. Wytyczne ATV-A200P, ATV-A262P. 2000. Oczyszczanie ścieków na terenach o zabudowie rozproszonej. Wydawnictwo „Seidel – Przywecki” Sp. z o.o, Warszawa.

EFFECTIVENESS OF VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLANDS BASED ON RESULTS OF THE ANNUAL RESEARCH PROJECT

Summary. The paper presents results of the annual research project on effectiveness of eight vertical flow constructed wetland built within the framework of the Centrum Zielonych Technologii project, which was conducted by Podlaska Stacja Przyrodnicza NAREW. The aim of the research was to prove whether or not the constructed wetlands provide required ecological effectiveness apart from their high economical efficiency as well as high level of users' satisfaction.

Keywords: domestic sewage treatment plants, vertical flow constructed wetlands, household sewage.