

Usuwanie związków węgla, azotu i fosforu w przydomowej oczyszczalni ścieków ze złożem hydrofitowym

Katarzyna Ignatowicz¹, Joanna Oksiuta¹

¹ Katedra Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: k.ignatowicz@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań efektywności działania przydomowej oczyszczalni ścieków ze złożem hydrofitowym. W celu określenia efektywności pracy oczyszczalni ścieków, pobierano do analizy próbki z poszczególnych jej elementów w latach 2015–2018. Każdorazowo pobierano próbki ścieków z osadnika gnilnego, po złożu hydrofitowym oraz ze stawu tlenowego. Przeanalizowano efektywność usuwania związków organicznych oraz biogennych. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono dużą skuteczność usuwania związków organicznych określanych jako BZT₅, dochodzącą do aż 94,45% oraz ChZT – aż 75,8%.

Słowa kluczowe: przydomowa oczyszczalnia ścieków, hydrofity, staw tlenowy

Removal of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in constructed wetland for single household wastewater treatment

ABSTRACT

The article presents the results of the research with the household sewage treated by constructed wetland system. For effectiveness evaluation of sewage treatment plant, the sampling events were performed in 2015-2018. The samples were taken from: septic tank, after treatment in vertical flow constructed wetland and from aerobic pond. The removal efficiency of organic matter as well as biogenic compounds was evaluated. The carried out investigation confirmed the high efficiency of organic compounds removal. The removal of BOD₅ was up to 94,45% and COD up to 75,8%.

Keywords: wastewater treatment plant, constructed wetland, aerobic pond

WSTĘP

Problem zagospodarowania ścieków powstających w rejonach wiejskich narasta od początku lat siedemdziesiątych, kiedy zintensyfikowano budowę wodociągów, bez równoczesnego rozwiązania gospodarki ściekowej. Najczęściej spotyka się niesprawne tzw. nieszczelne zbiorniki bezodpływowe (szamba). W konsekwencji nie oczyszczone ścieki prędzej czy później dostają się do wód gruntowych lub rzek, stawów i jezior. Powoduje to degradację i utratę źródła czystej wody. Duże zagrożenie stanowią również nawozy rolnicze infiltrujące do wód gruntowych i powierzchniowych oraz spływy powierzchniowe, będące źródłem związków biogennych, odpowiedzialnych za proces eutrofizacji [Goleń 2008;

Obarska-Pempkowiak 2002; Obarska-Pempkowiak i in. 2010, 2012; Smyk, Ignatowicz 2013].

Wieloletnie zaniedbania w budowie kanalizacji i oczyszczalni ścieków powodują, że wielu mieszkańców tych terenów jest zmuszonych do indywidualnego rozwiązania problemu oczyszczania wytwarzanych przez siebie ścieków [Dymaczewski 2005; Skrzypiec, Gajewska 2013; Vymazal 2010]. Stosowanie przydomowych oczyszczalni ścieków staje się, coraz bardziej powszechną metodą gospodarki ściekowej wszędzie tam, gdzie nie ma możliwości podłączenia gospodarstwa do sieci kanalizacyjnej. Spowodowane jest to nie tylko szybkim zwrotem kosztów, poprzez na przykład oszczędności na braku konieczności wynajmu wozu asymilacyjnego, lecz również prostocie w montażu oraz łatwości ob-

sługi i kontroli. Maksymalna liczba mieszkańców, którą mogą obsłużyć przydomowe oczyszczalnie ścieków definiowana jest na poziomie 50 osób, a przepustowość, której nie mogą przekroczyć według prawa wodnego wynosi 5 m³/d. Dobrze zaprojektowana i dobrana oczyszczalnia przydomowa nie stanowi zagrożenia dla jakości wód podziemnych i cieków oraz odgrywa pozytywną rolę jako unieszkodliwianie zanieczyszczeń i uzupełnianie lokalnych zasobów wodnych. Jakość odprowadzanych ścieków określa rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków [Ryńska 2006; Reddy 1996]. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w funkcjonującej od 2011 roku hydrofitowej oczyszczalni ścieków w Zwierkach.

OBIEKT BADAŃ

Gmina Zabłudów, w której leży wieś Zwierki posiada powierzchnię blisko 44 tys. ha i jest zamieszkiwana przez 9219 osoby. Około 59% ludności korzystała w 2016 roku z wodociągów oraz tylko 24% z kanalizacji [białystok.stat.gov.pl 2017]. Monitorowana przydomowa oczyszczalnia ścieków obsługuje klasztor żeński. Oczyszczalnia zbudowana została w 2011 roku. Obsługuje około 35–40 osób, oczyszcza ścieki w ilości ok. 4 m³/d. Schemat blokowy oczyszczalni ścieków przedstawiono na rysunku 1 [Smyk, Ignatowicz 2013].

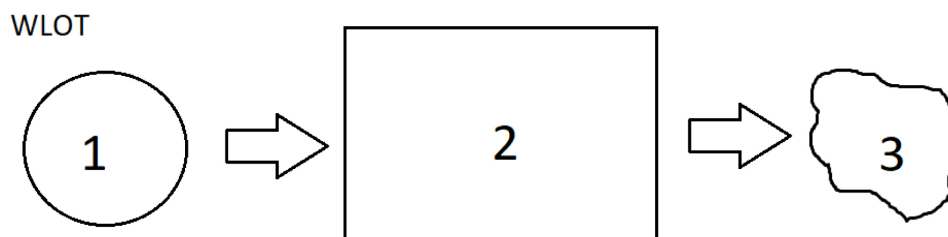
Ścieki są odprowadzane grawitacyjnie z budynku klasztoru do osadnika gnilnego, składającego się dwóch komór. Instalacja ta istniała jeszcze przed wybudowaniem oczyszczalni, zaadaptowano stare zbiorniki bezodpływowe – szamba z prefabrykatów betonowych o średnicy 150 cm oraz głębokości 3 m każdy. W osadnikach zachodzi proces podczyszczania ścieków, czyli oddzielenia ciał stałych i tłuszczu od cie-

czy, oraz fermentacji. Są to procesy biologiczne przy udziale bakterii beztlenowych. W osadniku gnilnym ścieki zostają wstępnie oczyszczone. Częstki unoszące się w ściekach opadają na dno i tworzą osad. Osad ten ulega powolnemu procesowi fermentacji, w czasie którego cząstki zanieczyszczeń rozkładane na substancje rozpuszczalne w wodzie oraz nierozpuszczalne substancje mineralne, które odkładają się na dnie osadnika. Na powierzchni ścieków w osadniku gnilnym okresowo tworzy się tzw. kożuch (utworzony z zanieczyszczeń lżejszych od wody – najczęściej tłuszczu). Wnętrze komory osadnika gnilnego przedstawia rysunek 2.

Kolejnym elementem instalacji, przez który ścieki przepływają, jest studnia z dyfuzorem, co jest rozwiązaniem nietypowym. Studnia ma średnicę 120 cm oraz głębokość 2,5 m. Na dnie studni znajduje się dmuchawa membranowa o wydajności 60 l/min, o mocy 60 W. Ścieki znajdują się 1,5 m nad dyfuzorem. W środku odbywa się napowietrzanie drobno-pęcherzykowe, tlen podawany jest w ilości ok 3 m³/d. Element ten został wybudowany głównie po to, aby ścieki nie zagniwały przed dotarciem do złoża roślinno-gruntowego oraz aby nie wydziślały nieprzyjemnego zapachu po rozproszaniu na złożu. Oprócz tego system ten w okresach zimowych nie pozwala na obniżenie temperatury ścieków w komorze (rys. 3).

Po napowietrzeniu ścieki przepływają do komory osadu. Komora, podobnie jak studnia z dyfuzorem, ma średnicę 120 cm oraz głębokość 2,5 m. Panują tu warunki niedotlenione i zachodzi dodatkowa sedymentacja osadu. Wnętrze komory osadu przedstawia rysunek 4.

Ścieki po opuszczeniu komory osadu, przepływają do pompowni ścieków. W studni o średnicy 120 cm i głębokości 4 m znajduje się pompa tłocząca ścieki na złożo gruntowo-roślinne. Zastosowano pompę firmy EBARA o mocy 1,5 kW i zasilaniu 220V. Pompa ta włącza się, gdy poziom ścieków osiągnie żądaną wysokość w studni.



Rys. 1. Schemat oczyszczalni hydrofitowej: 1 – osadnik gnilny, 2 – złożo hydrofitowe, 3 – staw doczyszczający
Fig. 1. Block diagram of the constructed wetland: 1 – septic tank, 2 – filter with soil and plant, 3 – pond



Rys. 2. Osadnik gnilny
Fig. 2. Septic tank



Rys. 3. Studnia z dyfuzorem
Fig. 3. Well diffuser aeration



Rys. 4. Komora osadu
Fig. 4. Sludge chamber

Złoże gruntowo-roślinne ma szerokość 9 m i długość 12 m. Zbudowane zostało w systemie z powierzchniowym pionowym przepływem ścieków. Drenaż rozprowadzający wykonany został z rur o średnicy 50 mm. Rozmieszczone są co 1 m i znajdują się na powierzchni złoża. W każdej rurze znajdują się otwory o średnicy 8 mm, rozmieszczone co 1 m. Złoże gruntowo-roślinne w okresie wiosennym i letnim przedstawia rysunek 5.

Złoże zasiedlone trzcina pospolitą oraz innymi roślinami wodolubnymi. Ścieki przepływające przez złoże i strefę korzeniową roślin są oczyszczane mechanicznie i biologicznie. Od góry wypełnienie złoża stanowi:

- żwir płukany o średnicy 8–16 mm, grubość warstwy 20 cm,
- piasek płukany o średnicy 0,5–2 mm, grubość warstwy 60 cm,
- żwir płukany o średnicy 8–16 mm, grubość warstwy 20 cm.

Na dnie złoża ułożony jest drenaż zbierający. Rury drenarskie mają średnicę 100 mm, ułożone są „w grzebień”. Pod nimi znajduje się uszczelnienie z maty bentonitowej. Oczyszczone ścieki są odprowadzone do stawu znajdującego się na terenie działki obok złoża gruntowo-roślinnego (rys. 6)

METODY BADAŃ

W celu określenia efektywności pracy oczyszczalni pobierano próbki ścieków z poszczególnych jej elementów w latach 2015–2018. Każdorazowo pobierano próbki ścieków z osadnika gnilnego, po złożu hydrofitowym oraz ze stawu.



Rys. 5. Złoże gruntowo-roślinne w okresie wiosennym i letnim
Fig. 5. Filter with soil and plant in spring and summer



Rys. 6. Staw tlenowy – odbiornik ścieków oczyszczonych
Fig. 6. Aerobic pond – receiver purified sewage

- $N-NH_4$ – metodą spektrofotometryczną wg: PN-ISO 7150-1:2002,
- $N-NO_3$ – metodą spektrofotometryczną wg: PN-82/C-04576/08,
- $P-PO_4$ – metodą spektrofotometryczną wg PN-EN ISO 6878:2006,
- Odczyn – metodą potencjometryczną wg PN-90/C-04540.01,
- Przewodność – metodą konduktometryczną wg PN-EN 27888:1999,
- Tlen rozpuszczony – metodą elektrochemiczną PN-EN 25813:1997.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki badań ścieków pobranych z przydomowej oczyszczalni ścieków w Zwierkach umieszczono w Tabeli 1 oraz na rysunkach 7–10.

Do osadnika gnilnego dopływają ścieki, w których ilość zanieczyszczeń organicznych określanych jako BZT_5 wynosiła średnio $180 \text{ mgO}_2/\text{l}$ oraz $ChZT$ $406,7 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Jak wskazuje iloraz $ChZT/BZT_5$ ścieki są biodegradowalne. W osadniku gnilnym panują warunki beztlenowe, w których związki organiczne ulegają rozkładowi, sedymentacji oraz pobieraniu substancji pokarmowych przez mikroorganizmy. Dalszy rozkład substancji organicznych zachodzi w złożu hydrofitowym. Ilość związków organicznych określanych jako BZT_5 zmniejszyła się o 94,45%, natomiast $ChZT$ o 75,8%. Zmniejszenie stężenia związane jest z intensywnymi procesami usuwania na skutek panujących w złożu filtracyjnym warunków tlenowo, niedotlenionych i beztlenowych. Natomiast w stawie doczyszczającym nie stwierdzono dalszego ubytku substancji organicznych. Większość zanieczyszczeń jest rozkładana i pochłaniana przez mikroorganizmy, z kolei głównym

Pobór, utrwalenie oraz analizę próbek przeprowadzono zgodnie z przyjętymi i stosowanymi normami w laboratorium Katedry Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. Pobrane próbki ścieków zaraz po pobraniu poddawano filtracji. W filtracji każdorazowo oznaczano zgodnie z obowiązującą metodyką:

- $ChZT_{Cr}$ – metodą dwuchromianową PN-ISO 15705:2005
- BZT_5 – metodą manometryczną systemem OxiTop Standard,

Tabela 1. Wyniki badań ścieków dla przydomowej oczyszczalni ścieków w Zwierkach
Table 1. Result of sewage tests for wastewater treatment plant

Badany parametr	Miejsce pobrania próbki		
	Osadnik gnilny	Ścieki oczyszczone w złożu hydrofitowym	Staw doczyszczający
ChZT [mgO ₂ /l]	<u>308-604</u> 406,70 / 388,00 / 92,99	<u>45,00-175,00</u> 100,10 / 73,00 / 54,62	<u>48,00-250,00</u> 158,00 / 170,00 / 71,64
BZT ₅ [mgO ₂ /l]	<u>100,00-270,00</u> 180,00 / 170,00 / 53,23	<u>2,00-20,00</u> 9,86 / 710,00 / 7,10	<u>20,00-45,00</u> 22,29 / 25,00 / 16,55
Azotany [mgN/l]	<u>0,00-6,80</u> 2,15 / 1,20 / 2,29	<u>3,50-25,00</u> 16,07 / 17,50 / 8,69	<u>4,70-41,20</u> 21,92 / 20,03 / 12,15
Azot amonowy [mgN/l]	<u>47,50-73,80</u> 60,37 / 58,15 / 9,23	<u>0,10-13,90</u> 6,31 / 6,25 / 5,24	<u>0,10-8,10</u> 5,54 / 6,50 / 3,11
Fosforany [mgP/l]	<u>6,00-56,50</u> 19,86 / 12,05 / 17,36	<u>0,65-46,50</u> 9,67 / 4,85 / 16,42	<u>0,80-38,30</u> 10,01 / 6,45 / 12,37
pH	<u>7,00-8,03</u> -	<u>6,30-7,57</u> -	<u>8,03-9,29</u> -
Przewodność elektrolityczna [μS/cm]	<u>1436-1631</u> 1524,50 / 1521 / 79,63	<u>1240-1506</u> 1404,50 / 1400 / 96,56	<u>1097-1402</u> 1197,67 / 1179,50 / 11,29
Potencjał redoks [mV]	<u>-382-82,5</u> -244,80 / -278,40 / 170,61	<u>-23,70-121,8</u> 63,37 / 98,55 / 63,03	<u>-10,30-95,80</u> 57,55 / 79,75 / 44,89
Tlen rozpuszczony [mg/l]	<u>0,14-14,00</u> 2,55 / 0,20 / 5,61	<u>3,80-5,88</u> 5,01 / 4,96 / 0,74	<u>9,53-15,29</u> 12,40 / 12,34 / 1,86

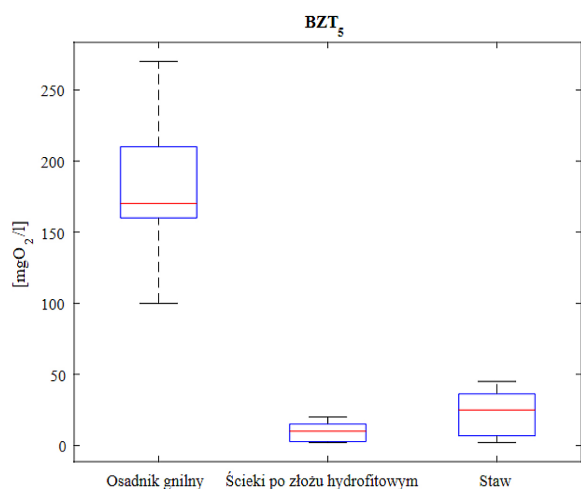
zadaniem roślin jest dostarczenie do złoża tlenu. Wysoki procentowy efekt oczyszczania dla BZT₅, jak i ChZT świadczy o prawidłowym przebiegu oczyszczania ścieków z zanieczyszczeń organicznych [Ignatowicz, Smyk 2014].

W osadniku gnilnym zachodzą procesy denitryfikacji i amonifikacji, ze względu na panujące tu warunki beztlenowe. Azotany poprzez stadia pośrednie są redukowane do produktów gazowych, takich jak tlenek azotu czy podtlenek azotu. Tlen zawarty w azotanach jest zużywany przez bakterie, natomiast azot przekształcony w postać gazową uwalniany jest do atmosfery. Jako pokarm bakterie zużywają związki organiczne zawarte w ściekach, dlatego stężenie azotanów pozostaje na stałym poziomie. Nie zachodzą natomiast procesy nityfikacji, gdyż ze względu na brak tlenu, nie rozwijają się bakterie nityfikujące [Sadecka, Mazurkiewicz 2011; Markuch 2009]. Stężenie azotu amonowego w osadniku gnilnym wahało się od 47,50 do 73,80 mgN/l przy wartości średniej 60,37 mgN/l, zaś stężenie azotanów V oscylowało od 0 do 6,80 mgN/l przy średniej wartości 2,15 mgN/l.

W złożu hydrofitowym panują warunki tlenowo-beztlenowe. Następuje intensywny rozwój bakterii nityfikujących, jak również rośliny pobierają związki azotu do przyrostu masy. Wskutek sprzyjających warunków dla procesu nityfikacji (dobre natlenienie ścieków, pH zbliżone do 7) nastąpiło intensywne usuwanie azotu amonowego, stężenie azotu uległo obniżeniu aż o 89,7%

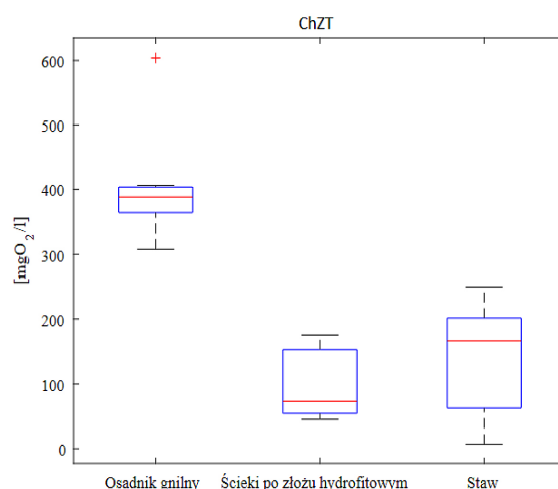
w wyniku przepływu ścieków przez złożo hydrofitowe. Ze względu na intensywną nityfikację, stężenie azotanów wzrosło do średniej wartości równej 16,07 mgN/l ulegając wahaniom się od 3,50 do 25,00 mgN/l. Natomiast stężenie azotu amonowego spadło do wartości średniej 6,31 mgN/l osiągając wartość minimalną 0,1 mgN/l zaś maksymalną 13,90 mgN/l.

W badanych ściekach surowych stężenie fosforanów wyniosło średnio 19,86 mgP/l ulegając wahaniom od 6,00 do 56,50 mgP/l. Dość istotną cechą bakterii fosforowych umożliwiającą przeżycie w warunkach beztlenowo-tlenowych jest możliwość pobierania materii organicznej w warunkach beztlenowych, a następnie wykorzystania zgromadzonych zapasów w strefie tlenowej, gdzie panuje silna rywalizacja o pokarm. Substratami pobieranymi przez bakterie są produkty fermentacji, obecność w ściekach gotowych produktów fermentacji można uzyskać min.: wskutek dostatecznie długiego zatrzymania ścieków w warunkach beztlenowych [Galas, Piekarska 2013; Ignatowicz, Smyk 2014]. Na złożu hydrofitowym nastąpiło częściowe usuwanie fosforu na skutek sedymentacji, adsorpcji, pobierania przez rośliny oraz procesom mikrobiologicznym. Na tym etapie oczyszczania stężenie fosforu wahało się od 0,65 do 46,50 mgP/l osiągając średnio 9,67 mgP/l. W stawie doczyszczającym wartości te jeszcze uległy obniżeniu oscylując od 0,80 do 38,30 przy średniej 10,01 mgP/l dzięki procesom kumulacji w osadach dennych.



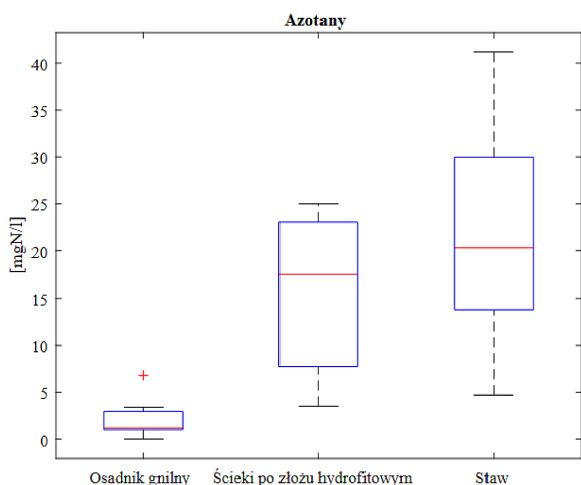
Rys. 7. Zmiany zawartości związków organicznych określanych jako BZT₅ w ściekach podczas procesu oczyszczania

Fig. 7. Changes in BZT₅ values during treatment



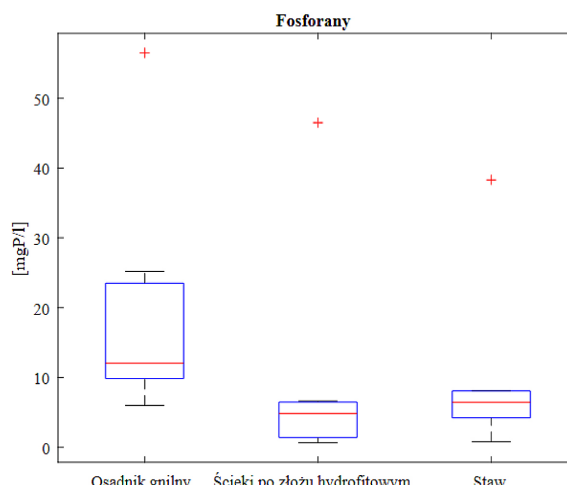
Rys. 8. Zmiany zawartości związków organicznych określanych jako ChZT w ściekach podczas procesu oczyszczania

Fig. 8. Changes in ChZT values during treatment



Rys. 9. Zmiany zawartości azotanów w ściekach podczas procesu oczyszczania

Fig. 9. Changes in nitrate values during treatment



Rys. 10. Zmiany zawartości fosforanów w ściekach podczas procesu oczyszczania

Fig. 10. Changes in phosphate values during treatment

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono dużą skuteczność usuwania w oczyszczalni hydrofitowej związków organicznych określanych jako BZT₅ dochodzącą aż do 91,9% w sezonie letnim oraz ChZT dochodzącą do 75,8%. Uzyskano także wysoką skuteczność usuwania azotu amonowego niezależnie od badanego sezonu. Odnotowano wzrost stężenia azotanów – do 25 mgN/l, co spowodowane jest intensywną nitryfikacją i spowolnieniem procesów oczyszczania ścieków przez zimę.

BIBLIOGRAFIA

1. Dymaczewski Z. 2005. Technologie w przydomowych oczyszczalniach ścieków. Wodociągi-Kanalizacja, 1(10), s. 26.
2. Galas E., Piekarska K. 2013. Biologiczne usuwanie fosforu ze ścieków. W: Traczewska T.M. (red.) Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska. Tom 3. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
3. Goleń M. 2008. Oczyszczanie ścieków na wsi - którą drogą? Wodociągi-Kanalizacja, 3(49), s. 30.
4. Ignatowicz K., Smyk J. 2014. Ekologiczne rozwiązanie gospodarki ściekowej i grzewczej w

- Monasterze w Zwierkach. Inżynieria Ekologiczna, 40, 7-16.
5. Markuch A. 2009. Biologiczne usuwanie związków azotu ze ścieków zawierających sulfonamidy. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska.
 6. Obarska-Pempkowiak H. 2002. Oczyszczalnie hydrofitowe. Politechnika Gdańska, Gdańsk.
 7. Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E. 2010. Hydrofitowe oczyszczanie wód. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
 8. Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., Ostojski A. 2012. Oczyszczalnia w ogrodzie. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.
 9. Reddy K.R., D'Angelo E.M. 1996. Biochemical indicator to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetland. In: Proceedings of 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Universität für Bodenkultur Wien and International Association on Water Quality. Vienna.
 10. Rosen P. 2002. Przydomowe oczyszczalnie ścieków. Wydawnictwo COIB, Warszawa.
 11. Ryńska J. 2006. Przydomowe oczyszczalnie ścieków. Poradnik. Wydawnictwo Login Media.
 12. Sadecka Z., Mazurkiewicz M. 2011. Warunki procesu denitryfikacji na przykładzie oczyszczalni w Kostrzynie nad Odrą. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, nr 142.
 13. Skrzypiec K, Gajewska M. 2013. The use of constructed wetlands for the treatment of industrial wastewater. <http://www.eko-dok.pl/2013/19.pdf>
 14. Smyk J., Ignatowicz K. 2013. Ocena funkcjonowania przydomowej oczyszczalni ścieków ze złożem hydrofitowym w miejscowości Zwierki. Materiały konferencji „Environmental Engineering – Trough a Young Eye”.
 15. Vymazal J. 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530-549.
 16. https://bialystok.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_podlaskie/portrety_gmin/powiat_bialostocki/gmina_zabludow.pdf 2017.